

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Geografie a kartografie



David Outrata

Změny využití krajiny vojenských újezdů Česka

Land cover changes in military areas of Czechia

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce: RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

Praha, 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citoval.

Jsem si vědom toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 20. května 2015

.....

David Outrata

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph.D., za cenné rady a věnovaný čas. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Janu Křížovi za připomínky k mé práci. A v neposlední řadě děkuji také rodině a přítelkyni, kteří mě podporovali nejen během zpracování této práce, ale po celou dobu mého studia.

Změny využití krajiny vojenských újezdů Česka

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat a porovnat změny krajinného pokryvu ve dvou územích ovlivněných činností armády, vojenským újezdem Brdy a bývalým vojenským újezdem Ralsko, mezi lety 1986, 1998 a 2011. Bylo použito algoritmu řízené klasifikace Maximum Likelihood a satelitních snímků Landsat 5. V rámci práce byla též zkoumána využitelnost snímků Landsat CDR, s aplikovanými atmosférickými korekcemi. Referenčními daty pro získání kontrolních dat byly barevné a černobílé letecké snímky. Klasifikační systém obsahoval osm tříd přizpůsobených zkoumaným územím. Byla provedena klasifikace družicových snímků obou zkoumaných území za roky 1986, 1998 a 2011, přičemž celková přesnost klasifikace se pohybovala od 80,45 % do 90,02 %. S těmito daty bylo dále pracováno, a byly sestaveny tabulky a grafy ukazující rozlohu jednotlivých land cover tříd v daných časových horizontech. Výstupem jsou též mapy krajinného pokryvu, mapy změn a mapy stabilní krajinného pokryvu. Potvrdil se předpokládaný trend, že se v bývalém vojenském újezdu Ralsko po opuštění armádou krajinný pokryv významně změnil, oproti tomu ve stávajícím vojenském újezdu Brdy byly změny spíše menší.

Klíčová slova: změny krajinného pokryvu, řízená klasifikace, Landsat, Landsat CDR, vojenské újezdy, Brdy, Ralsko, Geomatica, ArcGIS

Land cover changes in military areas of Czechia

Abstract

The aim of this bachelor thesis was to analyze and compare land cover changes in two areas affected by military activities, in military area Brdy and former military area Ralsko between 1986, 1998 and 2011. Maximum Likelihood supervised classification algorithm and Landsat 5 satellite images were used. Within the work was also examined the usability of Landsat images CDR, with atmospheric corrections applied. Reference data to gain control data were RGB and monochromatic aerial images. The classification system contained eight classes adapted to explored territory. Satellite photographs were classified on surveyed territories for the years 1986, 1998 and 2011, with overall classification accuracy ranging from 80.45% to 90.02%. With these data was further worked, and tables and graphs showing the area of individual land cover in the given time horizons were compiled. Outputs are also land cover maps, change maps and stable land cover maps. The expected trend that in the former military area after leaving the army land cover changed significantly, contrary to the current military area, where changes are minor, was confirmed.

Key words: land cover changes, supervised classification, Landsat, Landsat CDR, military areas, Brdy, Ralsko, Geomatica, ArcGIS

OBSAH

Přehled použitých zkratk	8
Seznam obrázků a tabulek	9
1 Úvod	10
2 Uvedení do problematiky	11
2.1 Dálkový průzkum Země	11
2.2 Spektrální charakteristiky povrchů	11
2.3 Klasifikace	12
2.3.1 Klasifikační algoritmy řízené klasifikace	13
2.3.2 Klasifikační algoritmy neřízené klasifikace	15
2.4 Příprava dat	16
2.4.1 Geometrické korekce	17
2.4.2 Radiometrické korekce	17
2.4.3 Analýza hlavních komponent	17
2.5 Úpravy klasifikovaného obrazu	18
2.6 Hodnocení přesnosti klasifikace	19
3 Rešerše literárních zdrojů	21
4 Zájmové území a použitá data	23
4.1 Zájmové území	23
4.2 Použitá data	25
4.2.1 Satelitní snímky LANDSAT 5	25
4.2.2 Snímky Landsat CDR s aplikovanými atmosférickými korekcemi	27
4.2.3 Letecké snímky	30
5 Metodika	32
5.1 Předzpracování dat	32
5.2 Klasifikační třídy	32
5.3 Klasifikace land cover	40
5.4 Určení přesnosti	43
5.5 Výpočet změn krajinného pokryvu	43
5.6 Použitý software	44

5.6.1	ArcGis	44
5.6.2	Geomatica	44
5.6.3	Ostatní	45
6	Výsledky.....	46
6.1	Hodnocení přesnosti klasifikace.....	46
6.2	Změny krajinného pokryvu.....	49
7	Diskuse	53
8	Závěr.....	55
	Seznam zdrojů	56
	Seznam příloh.....	59

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

CDR	<i>Climate Data Record</i> , označení pro snímky Landsat s aplikovanými atmosférickými korekcemi
CORINE	<i>Coordination of information on the environment</i> , Evropský projekt mapování land cover
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DN	<i>Digital Number</i> , původní hodnoty snímků
DPZ	Dálkový průzkum Země
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i> , senzor na nosičích Landsat
MSS	<i>Multispectral Scanner</i> , senzor na nosičích Landsat
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (Normalizovaný diferenční vegetační index)
PCA	<i>Principal Component Analysis</i> (Analýza hlavních komponent)
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální, souřadnicový systém
TM	<i>Thematic Mapper</i> , senzor na nosičích Landsat
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i> , souřadnicový systém
VGHMÚř	Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad
VÚ	Vojenský újezd
WGS 84	<i>World Geodetic System 1984</i> , geodetický systém
WMS	<i>Web Map Service</i> , standard pro sdílení rastrových map
ZÚ	Zájmové území

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1: Rozptylogram ukazující nevýhodu použití klasifikátoru minimální vzdálenosti	13
Obrázek 2: Parallelepiped klasifikátor.....	14
Obrázek 3: Kontury pro stejné pravděpodobnosti definované klasifikátorem Maximum Likelihood..	15
Obrázek 4: Iterativní výpočet pozice centroidů dvou difuzních shluků	16
Obrázek 5: Princip analýzy hlavních komponent	18
Obrázek 6: Vymezení vojenského újezdu Ralsko	25
Obrázek 7: Relativní konstanta a poloha referenčních bodů.....	29
Obrázek 8: Vrstva Atmospheric Opacity pro území Brdy.....	30
Obrázek 9: Ukázka trénovacích ploch zástavby za roky 2011, 1998 a 1986	33
Obrázek 10: Ukázka trénovacích ploch orné půdy za roky 2011, 1998 a 1986.....	34
Obrázek 11: Ukázka trénovacích ploch trvalých travních porostů za roky 2011, 1998 a 1986	35
Obrázek 12: Ukázka trénovacích ploch povrchů s řídkou vegetací za roky 2011, 1998 a 1986.....	36
Obrázek 13: Ukázka trénovacích ploch sukcesních porostů za roky 2011, 1998 a 1986	37
Obrázek 14: Ukázka trénovacích ploch jehličnatých lesů za roky 2011, 1998 a 1986	38
Obrázek 15: Ukázka trénovacích ploch listnatých lesů za roky 2011, 1998 a 1986	39
Obrázek 16: Ukázka trénovacích ploch vodních ploch za roky 2011, 1998 a 1986.....	40
Obrázek 17: Histogram trénovacích ploch zástavby, Brdy 1998.....	41
Obrázek 18: Náhled překryvu satelitního snímku a klasifikace, Ralsko 1986	48
Obrázek 19: Graf vývoje krajinného pokryvu na zájmovém území Brdy	50
Obrázek 20: Graf vývoje krajinného pokryvu na zájmovém území Ralsko	51
Tabulka 1: Použité snímky.....	26
Tabulka 2: Spektrální pásma TM	27
Tabulka 3: Porovnání celkové přesnosti klasifikace s použitím Level 1 Landsat snímků a snímků CDR ..	28
Tabulka 4: Hodnoty absolutních a relativních konstant na referenčních bodech	29
Tabulka 5: Použitý klasifikační systém	33
Tabulka 6: Charakteristika trénovacích ploch pro Ralsko	42
Tabulka 7: Charakteristika trénovacích ploch pro Brdy	42
Tabulka 8: Průměrná a celková přesnost klasifikace trénovacích ploch.....	46
Tabulka 9: Celkové přesnosti klasifikace snímků na základě kontrolních bodů.....	47
Tabulka 10: Rozlohy tříd krajinného pokryvu na zájmovém území Brdy	49
Tabulka 11: Rozlohy tříd krajinného pokryvu na zájmovém území Ralsko	51
Tabulka 12: Rozlohy tříd krajinného pokryvu ve VÚ Brdy.....	52
Tabulka 13: Rozlohy tříd krajinného pokryvu v bývalém VÚ Ralsko	52

1 ÚVOD

K proměně krajiny dochází dlouhodobě, výrazně se na ní podílí svou činností i člověk. Různé typy území prochází odlišnými proměnami, za specifický příklad lze v současné české krajině považovat i vojenské újezdy (VÚ). Kvůli činnosti armády a nepřístupnosti veřejnosti je jejich krajinný pokryv tvořen poněkud odlišnými procesy než v krajině vně újezdů. Pokud chceme tyto procesy a změny zkoumat, jeví se vhodné využít dat dálkového průzkumu Země, mimo jiné právě kvůli omezené přístupnosti těchto území, ale i možnosti získání objektivních informací z dřívější doby. V minulosti byly vojenské oblasti tajné a mapy byly účelně zkreslovány, proto by jejich využití pro analýzy změn mohlo být velmi nepřesné. Pro účely této práce byly vybrány dva VÚ, jeden bývalý újezd Ralsko a jeden stávající újezd Brdy, který je těsně před zrušením.

Cílem práce bylo v prvním kroku nalézt vhodné družicové snímky zachycující krajinný pokryv na zvolených územích a definovat legendu land cover klasifikace. Na tomto podkladě provést klasifikaci ve třech časových horizontech v letech 1986, 1998 a 2011. Následně pak zanalyzovat dlouhodobé změny krajiny a výsledky kriticky diskutovat. Součástí práce je i výběr vhodného klasifikačního algoritmu a zkoumána byla také potřebnost atmosférických korekcí snímku pro tuto úlohu. Důležitou součástí bylo hodnocení přesnosti klasifikace pomocí chybových matic z kontrolních bodů, které byly získány z vhodných referenčních dat. Vstupní hypotézou práce bylo, že na území zaniklého VÚ budou změny krajinného pokryvu větší než ve stávajícím.

V rešeršní části je stručně nastíněn princip dálkového průzkumu Země, rozebrány klasifikační algoritmy řízené a neřízené klasifikace a korekce předcházející samotné klasifikaci. Metodická část práce popisuje vlastnosti použitých snímků a vytvořený klasifikační systém vhodný pro zvolené území vojenských újezdů. Dále je zde rozebrán postup při určení přesnosti klasifikace a výpočtu krajinných změn. Další kapitola představuje výsledky zjištěných změn krajinného pokryvu v zájmových územích, které jsou dále diskutovány v předposlední kapitole. V závěru práce jsou shrnuty nejdůležitější poznatky a perspektivy dalšího výzkumu.

2 UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY

2.1 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum je způsob získávání informací o objektech a jevech na dálku, bez přímého kontaktu s nimi. Využívá se při něm dvou základních poznatků. Prvním je, že člověk sám či za pomoci přístrojů dokáže získávat informace o objektech a jevech ve svém okolí. Druhým je fakt, že každý tento jev či objekt charakteristickým způsobem ovlivňuje svoje okolí. (Dobrovolný, 1998)

Základní nositelem informace v dálkovém průzkumu Země je elektromagnetické záření, přičemž využívané elektromagnetické záření tvoří jen část známého rozsahu. (Halounová a Pavelka, 2008)

2.2 Spektrální charakteristiky povrchů

Základním principem dálkového průzkumu je interakce elektromagnetické záření se zkoumaným objektem. Z primární elektromagnetické vlny se tak stává sekundární, která může být trojího typu – prošlá, pohlcená nebo odražená. A právě odrážená vlna, závislá na odrazivosti povrchu, je pro nás důležitá (společně s emisními vlastnostmi povrchu). Každá látka má na různých vlnových délkách svoji charakteristickou odrazivost, a to samé můžeme říci i o jednotlivých typech krajinného pokryvu. Každý povrch má tedy svoji charakteristickou křivku spektrální odrazivosti, na jejímž základě můžeme poznat, o jaký povrch se jedná. Objekty můžeme rozdělit do čtyř základních skupin podle podobnosti křivky odrazivosti: pevný povrch bez vegetace, vegetační povrch, voda a plynné látky. (Kolář et al., 2000)

Spektrální projev vegetace je výsledkem odrazivých a emisních vlastností různých částí rostliny a jejího pozadí. Rozhodující je však odraz od listů. Ten se liší podle druhu rostliny, má však vždy tři základní spektrální oblasti. Oblast pigmentační absorpce v pásmu 0,4 μm až 0,7 μm se vyznačuje nízkou odrazivostí. Oblast buněčné struktury v pásmu 0,7 μm až 1,3 μm s vysokou odrazivostí, a následuje oblast vodní absorpce (1,3 μm – 3 μm) opět s nízkou odrazivostí. (Kolář, 1990)

S vodou se v rámci DPZ setkáváme ve všech třech skupenstvích: vodní pára v atmosféře, sníh či led a kapalná voda. V kapalném skupenství se vyznačuje nízkou odrazivostí s tím, že s rostoucí vlnovou délkou se ještě snižuje – při 1 μm je již prakticky nulová. Odrazivost zvyšují pevné částice rozptýlené ve vodě. Naproti tomu sníh a led má ve viditelné a blízké infračervené části spektra velmi vysokou odrazivost, často tak intenzita odraženého záření překračuje dynamický rozsah detektoru. Podobně jsou na tom ledovými krystalky tvořená oblaka. Odlišení mraků a sněhu lze provést až na delších vlnových délkách. (Kolář, 1990)

Do skupiny povrchů bez vegetace patří široká škála typů od skalních masivů přes zemědělskou půdu po stavební materiály. Obecně lze říci, že v infračerveném pásmu vykazuje tato skupina povrchů velkou

absorpci a že ve viditelném záření odrazivost stoupá s rostoucí vlnovou délkou. Odrazivost půdy značně ovlivňuje vlhkost půdy, dále pak obsah humusu, mineralogické složení a další faktory. S větší vlhkostí klesá odrazivost a jsou více patrné absorpční pásy vody. (Kolář, 1990)

2.3 Klasifikace

Pro určení změn využití krajiny je důležité jednotlivé pixely snímku zařadit do správné kategorie. Prvním způsobem zatřídění je vizuální interpretace prováděná manuálně zpracovatelem, druhým pak automatická počítačová klasifikace. Vizuální interpretace má výhodu především v komplexnosti, s jakou dokáže lidský mozek využít rozličné informace obsažené ve snímku (např. odstíny šedi, barvy, výšky, stíny, velikosti, tvary, textury, vzorky, polohy, vztahy k okolí), což je u počítačové klasifikace velmi obtížné algoritmovat. Automatická klasifikace má oproti tomu výhodu zejména v rychlosti a exaktnímu tvaru zpracování a v možnosti zpracovávat vícerozměrná data s větším dynamickým rozsahem. Z výše uvedených důvodů se více využívá právě počítačové klasifikace. (Kolář, 2008)

Klasifikace obrazu se provádí pomocí určeného klasifikačního pravidla, které je stanoveno na základě příznaků. Kolář et al. (2000) rozlišuje prostorové, spektrální, polarizační a časové příznaky, podle toho, zda je příznak spojen se změnou prostorových souřadnic, nebo se změnou hodnot pixelů. Tradiční klasifikátory využívají pouze spektrálních příznaků, na rozdíl od nově rozvíjených přístupů, které pracují s více typy vstupních dat a příznaků. Některé z nich uvádí Dobrovolný (1998), jedná se například o metodu *neuronových sítí*, *texturální klasifikátory*, *fuzzy logic klasifikátory* a kontextuální klasifikátory. V této práci však budeme dále diskutovat pouze řízenou a neřízenou klasifikaci za použití spektrálních příznaků.

Při řízené klasifikaci v prvním kroku definujeme trénovací plochy. Trénovací plochy jsou takové plochy, u kterých známe z jiných zdrojů (např. z mapy, terénního průzkumu) jednoznačné zařazení do jednotlivých typů povrchu. Každá třída trénovacích ploch je charakterizována souborem příznaků. Hodnoty v jednotlivých třídách se nesmějí překrývat, třídy lze od sebe na základě hodnot oddělit. Trénovací soubor musí být též kompletní a reprezentativní. To znamená, že trénovací plochy jsou rozmístěny po celé ploše snímku, v dostatečném počtu a velikosti. (Halounová a Pavelka, 2008) Důležité je také normální rozložení hodnot pixelů v rámci jedné třídy, to nám potvrzuje, že trénovací plocha zahrnuje pixely právě pouze té jedné třídy. Normální rozložení je také podmínkou některých klasifikátorů. (Dobrovolný, 1998)

Následuje klasifikační stadium, což je samostatná práce počítače, který zařadí či nezařadí jednotlivé pixely do předem vybraných tříd. Vzniká tak nový obraz, kde původní pixely mají nové hodnoty odpovídající třídám povrchu. Klasifikace pixelů do tříd probíhá podle námi zvoleného klasifikátoru. (Kolář et al., 2000)

U neřízené klasifikace se nepoužívá trénovací množina. Pixely se seskupují do shluků pouze na základě příbuzné spektrální odezvy. Po automatické klasifikaci je nutné provést šetření, co které třídy reprezentují. Často je také zapotřebí jednotlivé třídy sloučit, protože představují stejný povrch. Výhodou je, že oproti řízené klasifikaci neurčujeme dopředu počet tříd. Stejně jako u řízené klasifikace existuje více druhů klasifikačních algoritmů. (Kolář et al., 2000)

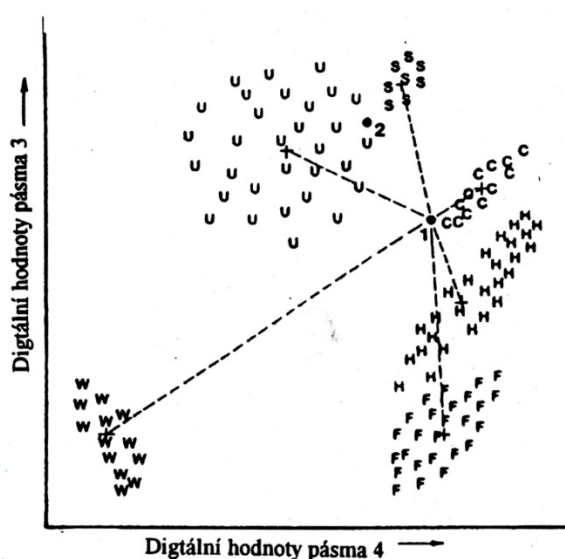
2.3.1 Klasifikační algoritmy řízené klasifikace

Nejpoužívanější klasifikátory řízené klasifikace jsou uvedeny níže. Použitý software *Geomatica* nabízí právě tyto tři klasifikátory, *ArcGIS* pak pouze poslední uvedený.

Minimum Distance (klasifikátor minimální vzdálenosti)

Minimum Distance představuje početně jednoduchý klasifikátor, který porovnává vzdálenost mezi průměrem hodnot jednotlivých tříd a hodnotou klasifikovaného bodu. Pixel pak bude zařazen do třídy, kde je tato vzdálenost nejmenší. Z toho vyplývá, že každý pixel bude zařazen do jedné ze tříd a žádný nezůstane neklasifikován. Některé algoritmy však umožňují definovat práh, který určí maximální vzdálenost od nejbližšího průměru třídy, a pokud je překročen, pixel zůstane neklasifikován. (Jensen, 2005)

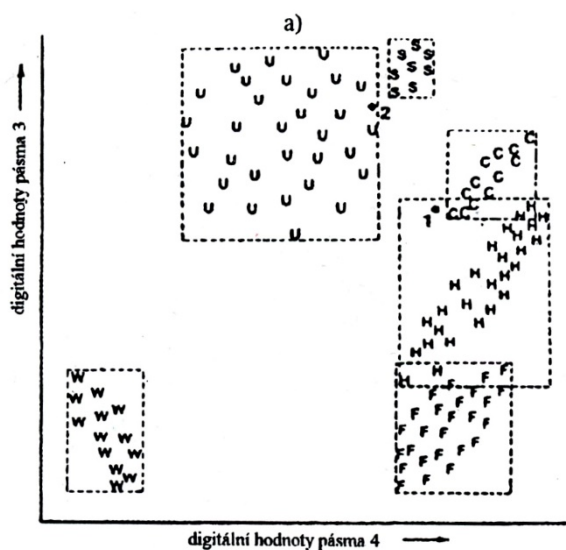
Klasifikátor není citlivý na různé stupně změn v datech, a z toho důvodu se příliš nepoužívá. Kolář et al. (2000) uvádí příklad chybného zařazení bodu 2 do třídy „S“, protože vzdálenost jeho hodnoty a průměru „S“ je nejmenší, i když spektrální charakteristikou by patřil spíše do třídy „U“ (viz Obrázek 1).



Obrázek 1: Rozptylogram ukazující nevýhodu použití klasifikátoru minimální vzdálenosti
(Zdroj: Kolář et al., 2000)

Parallelepiped klasifikátor

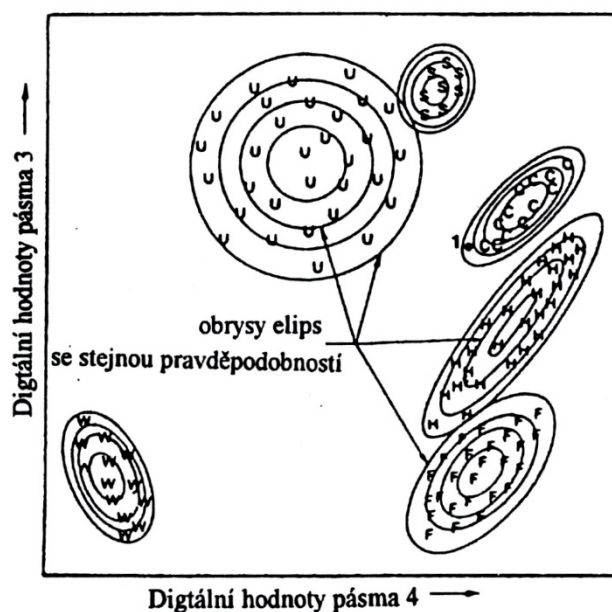
Parallelepiped klasifikátor vytvoří v n -rozměrném prostoru rozptylogramu n -rozměrné čtyřúhelníky, které vymezují třídy. Čtyřúhelníky jsou dány průměrem a směrodatnou odchylkou (případně jejím násobkem) hodnot trénovacích pixelů každé třídy. (Jensen, 2005) Pro každou třídu je tak vytvořen různě velký čtyřúhelník a tím je oproti klasifikátoru Minimum distance schopný lépe klasifikovat pixely do tříd s různým rozptylem hodnot. Problém nastává, pokud se čtyřúhelníky překrývají, tedy typicky pro korelovaná pásma, u kterých jsou hodnoty pixelů tříd rozloženy okolo diagonály, viz Obrázek 2. Pixely ležící mimo čtyřúhelníky jsou zatříděny jako neklasifikované. (Kolář et al., 2000)



Obrázek 2: *Parallelepiped* klasifikátor (Zdroj: Kolář et al., 2000)

Maximum Likelihood (klasifikátor největší pravděpodobnosti)

Klasifikátor *Maximum Likelihood* je jedním z nejčastěji používaných klasifikátorů, je založen na výpočtu pravděpodobnosti. Předpokladem pro správnou funkci klasifikátoru je normální rozdělení hodnot jednotlivých tříd. Pokud má histogram trénovacích dat více maxim, je vhodné trénovací plochy rozdělit do více tříd, tak aby podmínka normálního rozdělení byla splněna (Jensen, 2005). Klasifikátor pak v rozptylogramu vytvoří elipsy stejné pravděpodobnosti pro jednotlivé třídy a pixely jsou zatřídovány do třídy, u které mají největší pravděpodobnost (Kolář et al., 2000). Pokud není zvolen práh minimální pravděpodobnosti, jsou všechny pixely klasifikovány. Princip klasifikátoru je naznačen na Obrázek 3.



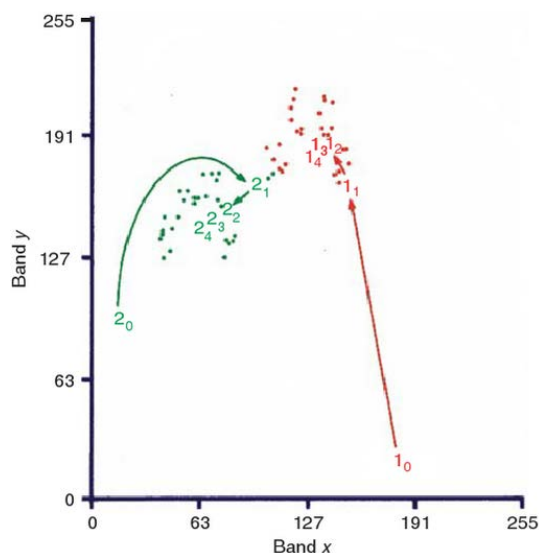
Obrázek 3: Kontury pro stejné pravděpodobnosti definované klasifikátorem Maximum Likelihood
(Zdroj: Kolář et al., 2000)

2.3.2 Klasifikační algoritmy neřízené klasifikace

Nejznámější klasifikátory neřízené klasifikace jsou *K-means* a ISODATA. Oba zmíněné najdeme v použitém softwaru *Geomatica*, *ArcGIS* obsahuje pouze ISODATA.

K-means klasifikátor

K-means klasifikátor funguje na principu iterativního zpřesňování pozice průměru shluků. Vstupním parametrem je počet shluků, které má algoritmus vytvořit. V prvním kroku jsou náhodně zvoleny středy shluků a k nim jsou přiřazeny pixely na základě vzdálenosti k nejbližšímu středu centroidu. V dalším kroku je vypočítána nová poloha centroidu na základě nově zatříděných pixelů z předchozího kroku. Takto je postup opakován do té doby, než se pozice centroidů výrazně nemění, nebo pokud je dosaženo maximálního počtu iterací. Postupné zpřesňování centroidů dvou tříd ilustruje Obrázek 4. Uživatel též může na začátku procesu určit přibližné pozice středů shluků, v tomto případě už však nelze hovořit o čistě neřízené klasifikaci. (Mather a Koch, 2011)



Obrázek 4: Iterativní výpočet pozice centroidů dvou difuzních shluků (Zdroj: Mather a Koch, 2011)

ISODATA klasifikátor

Klasifikátor ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques*) je vylepšenou obdobou předchozího klasifikátoru. Vstupním parametrem je místo přesného počtu shluků pouze rozpětí, což více odpovídá reálné praxi, kdy jen zřídka víme přesný počet shluků dopředu. Algoritmus vychází z předpokladu, že shluky jsou kompaktní a pixely jim náležející jsou uspořádány v blízkosti jeho centra. Měřítkem této kompaktnosti je směrodatná odchylka, pokud překročí uživatelem stanovenou hodnotu, je shluk rozdělen na dva. Dalším předpokladem je, že shluky jsou dobře separovatelné a jejich středy jsou vzdáleny více než zvolený minimální práh. Pokud jsou středy blíže než tento práh, jsou příslušné shluky spojeny. Proces se opakuje do té doby, než nevznikají a nezánikají nové shluky a pixely nemění svoji příslušnost ke třídě. Zároveň jsou během procesu eliminovány shluky s méně než předem určeným počtem pixelů. (Mather a Koch, 2011)

2.4 Příprava dat

Data DPZ jsou výsledkem působení vnitřních a vnějších parametrů. Vnitřní parametry vyjadřují charakter zkoumaného povrchu, jedná se tak typicky o druhovou kategorii (voda, vegetace apod.), ale i kvantitativní parametry jako velikost objektu či vlhkost. Tyto parametry se snažíme určit při řešení obrácené úlohy DPZ. Vnějšími parametry pak jsou vlastnosti přístroje, atmosférické vlivy, intenzita dopadajícího záření a geometrické uspořádání (Kolář, 2008). Tyto parametry nejsou zpravidla předmětem zkoumání v DPZ, a tak se snažíme eliminovat jejich vliv korekcemi. Korekce můžeme rozdělit na radiometrické a geometrické podle principu jejich aplikace.

2.4.1 Geometrické korekce

Geometrické korekce transformují souřadnou soustavu snímku a velikost pixelu. Nezpracovaná data obvykle nelze přímo použít, neboť obsahují významné geometrické nepřesnosti dané vlastnostmi dráhy nosiče, parametry senzoru, zakřivením a topografií Země a její rotací. V různých částech snímku proto není stejné měřítko. Geometrické korekce zahrnují celou skupinu metod. Pro odstranění systematických chyb (chyby vzniklé zakřivením a rotací Země) se provádí tzv. georeferenční korekce, která vychází ze znalosti charakteristik čidel a z okamžitého stavu měření, provádí se většinou již na přijímací pozemní stanici. Náhodné chyby se odstraňují obvykle rektifikací pomocí vlíčovacích bodů. Následně je obraz převzorkován do nově vytvořené souřadné sítě, používá se metody nejbližšího souseda, bilineární transformace či kubické konvoluce. (Plánka, 2007)

2.4.2 Radiometrické korekce

Cílem radiometrických korekcí je minimalizovat rozdíly mezi skutečnou radiometrickou charakteristikou povrchu a hodnotou naměřenou pomocí DPZ. Patří mezi ně opravy dané kalibrací přístrojů, opravy ze změny ozáření, opravy náhodných chyb, opravy vyplývající z geometrie letu a opravy ze stavu atmosféry (Plánka, 2007). Právě poslední zmíněné představují složitý problém a existuje řada metod řešících tuto úlohu. Jednou z nich je například metoda nejtmašího pixelu, která předpokládá, že odrazivost hluboké vody je v blízkém infračerveném pásmu nulová a naměřené hodnoty v této oblasti jsou tak příspěvkem atmosféry, jež je pak odečten od všech pixelů. Jedná se o jednoduchou, ovšem nepřiliš přesnou metodu. Další metody využívají regresní analýzy, při které srovnávají pozemní a distanční měření. Sběr pozemních dat je ale časově i finančně náročný, a tak se příliš nevyužívá. Poslední skupinou jsou metody modelující stav atmosféry za použití meteorologických dat. (Dobrovolný, 1998) Řadu různých modelů, např. ATCOR, S5 a S6, popisuje Kolář (2008).

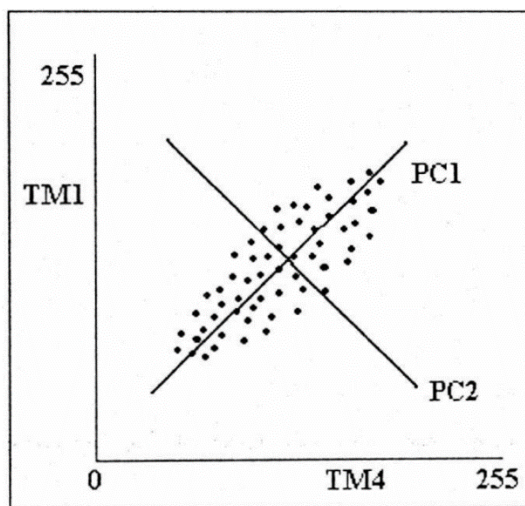
Podle Jensena (2005) nejsou atmosférické korekce potřebné v případě, že provádíme klasifikaci obrazu a spektrální příznaky jsou vypočítány z právě klasifikovaného obrazu. Je to z důvodu, že principem atmosférické korekce je často odečítání konstanty od všech pixelů v určitém pásmu. Průměry jednotlivých tříd se tak můžou změnit, ale ostatní charakteristiky zůstávají nezměněné. Ovšem v případě, že chceme srovnávat hodnoty rastrů z více časových horizontů nebo z více území, jsou atmosférické korekce nutné. Například při výpočtu NDVI u řídké či poškozené vegetace může být příspěvek atmosféry až 50 % hodnoty pixelu (Jensen, 2005).

2.4.3 Analýza hlavních komponent

Důležitým krokem před započítáním vlastní klasifikace je výběr vhodných pásem. Pásma ve viditelném a blízkém infračerveném spektru se vyznačují vzájemnou korelací a to má za následek, že přidání dalšího pásma přináší jen malou informaci navíc. Analýza hlavních komponent (*PCA – Principal Component Analysis*) je metoda, která se používá jednak pro zvýraznění obrazu před vizuální

interpretací, jednak pro předzpracování obrazu pro jeho následnou klasifikaci. Díky PCA můžeme pracovat s méně pásmy bez podstatné ztráty informace, protože potlačuje korelaci mezi jednotlivými pásmy. Při této metodě dochází k rotaci os vícerozměrného prostoru (Kolář et al., 2000). Jak je vidět na Obrázek 5, první komponenta (PC1) je orientována ve směru největšího rozptylu, druhá komponenta (PC2) se zavádí kolmo na první a opět v místě největšího rozptylu, obdobně se zkonstruuují další osy až do požadovaného počtu pásem. První komponenta obsahuje nejvíce informací z původního snímku. U dalších komponent množství informací progresivně klesá, protože každá komponenta obsahuje jen informace neobsažené v předchozí. Takto lze více než 99 % informace z původních snímků kumulovat do dvou až tří prvních hlavních komponent. (Dobrovolný, 1998)

Schowengerdt (2007) uvádí, že pokud do analýzy zahrneme navíc i termální pásmo, projeví se tato změna výrazně až ve čtvrté komponentě, která bude obsahovat více informace, než by obsahovala při analýze bez termálního pásma.



Obrázek 5: Princip analýzy hlavních komponent (Zdroj: Dobrovolný, 1998)

2.5 Úpravy klasifikovaného obrazu

Po provedení klasifikace je nutné provést agregaci (sloučení) spektrálních tříd do menšího počtu tříd informačních, které odpovídají námi zvolené legendě. V ideálním případě odpovídá každá spektrální třída jedinečné informační třídě, běžnější je však případ, kdy každé informační třídě odpovídá více spektrálních tříd. Jedná se například o různě zastíněné části stejného krajinného pokryvu nebo vodní plochy s různým obsahem sedimentů. Záleží na zaměření projektu, zda pro nás mají tyto podtřídy nějakou vypovídající hodnotu. Nevhodným výsledkem je, pokud jedna spektrální třída zahrnuje více tříd informačních, v takovém případě jsou informační třídy spektrálně podobné a nejde je ve snímku rozlišit. Tento problém však nastává pouze u neřízené klasifikace, kde nemůžeme dopředu sami určit spektrální třídy. (Dobrovolný, 1998)

Výsledkem klasifikace je obraz, který obsahuje velké množství osamocených pixelů (či malých shluků pixelů), které byly zařazeny do jiné třídy než okolí. Zpravidla je to vinou nedokonalé klasifikace, a tudíž je vhodné tyto pixely zahrnout do třídy, která je obklopuje. Za tímto účelem je vhodný módový (též majoritní) filtr. Tento filtr spočívá ve výběru nejčastěji se vyskytující hodnoty v obrazovém okně, která je následně přiřazena středovému pixelu. (Kolář et al., 2000)

2.6 Hodnocení přesnosti klasifikace

Důležitým krokem klasifikace je následné zhodnocení její přesnosti. Jensen (2005) řadí mezi statistické nástroje pro určení přesnosti zpracovatelskou přesnost, uživatelskou přesnost, celkovou přesnost a *Kappa koeficient*. Tyto ukazatele získáme z chybové matice, která porovnává hodnoty získané klasifikací se skutečnými hodnotami. Chybová matice je čtvercová kontingenční tabulka, kde se ve sloupcích vynášejí data odpovídající skutečnosti a do řádků data získaná klasifikací. V jednotlivých polích matice jsou pak počty vzorků (pixely, shluky pixelů či polygony), které patří do odpovídajících kategorií. Na diagonále se tak nachází správně klasifikované vzorky, mimo diagonálu chyby. Každá chyba je jednak chybou opomenutí zařazení do správné kategorie, jednak chybou z nesprávného zařazení do špatné kategorie. Pro spočtení chyb z opomenutí a chyb z nesprávného zařazení se používá poslední sloupec a řádek v chybové matici, které vyjadřují sumy. (Jensen, 2005)

Chybovou matici lze zkonstruovat dvěma způsoby. Prvním je matice založená pouze na trénovacích datech. Nevýhodou je, že umístění těchto ploch není náhodné, ale jsou umístěny v místech, kde byl uživatel schopen jednoznačně určit druh pokryvu. Vhodným způsobem je vytvořit sadu kontrolních bodů či polygonů, které jsou náhodně rozmístěny a nejsou závislé na trénovacích datech. Je důležité sesbírat tato kontrolní data v nejbližším možném termínu od času pořízení dat z DPZ. Nejspolehlivější způsob sběru kontrolních dat je terénní průzkum na daných náhodných bodech, to však často není možné, ať už z důvodu finančních a časových, ale i kvůli nedostupnosti lokality (kvůli náročnosti terénu či vlastnickým právům). Nejpoužívanějším, i když ne nejlepším postupem je sběr dat ze snímků s podstatně větším rozlišením, než které bylo použito pro původní klasifikaci, typicky se tak například pro snímky ze snímače *Landsat Thematic Mapper* (s rozlišením 30 x 30 m) používá leteckých snímků s rozlišením lepším než 1 x 1 m. (Jensen 2005)

Důležitým aspektem je počet a reprezentativnost kontrolních bodů. Podle Congaltona (1991) existuje mnoho metod pro určení počtu a umístění kontrolních bodů, dobrým pravidlem však může být pravidlo sběru alespoň 50 bodů pro každou třídu. Při velké rozloze území a při velkém počtu klasifikovaných tříd by měl být tento počet ještě navýšen. Počty lze též upravit na základě relativní důležitosti tříd a podle variability uvnitř každé kategorie. Může tak být užitečné sesbírat méně vzorků pro plochy s nízkou variabilitou (voda, les) a naopak více pro plochy s variabilitou vysokou (orné plochy). Důležité je též umístění bodů v ploše snímku. Congalton (1991) uvádí řadu metod od náhodného vzorkování po rozvrstvené systematické nezarovnané vzorkování.

Po sběru kontrolních bodů můžeme sestavit chybovou matici a z ní dále vyhodnotit statistiky popisující přesnost klasifikace. *Celková přesnost* je podíl správně zatříděných bodů k jejich celkovému počtu. Více komplexní jsou však ukazatele, které počítají přesnost pro jednotlivé třídy. Pokud vydělíme správně zatříděné body určité třídy celkovým počtem kontrolních bodů této třídy (suma hodnot ve sloupci), získáváme *zpracovatelskou přesnost* pro danou třídu, která je měřítkem chyb z opomenutí. Pokud vydělíme správně zatříděné body určité třídy celkovým počtem bodů, které byly do této třídy vyklasifikovány (suma hodnot v řádku), získáváme *uživatelskou přesnost* pro danou třídu, která je měřítkem chyb z nesprávného zařazení. Vyjadřuje pravděpodobnost, s jakou klasifikovaný pixel vyjadřuje správnou kategorii na povrchu. (Jensen, 2005)

Další ukazatelem je *Kappa koeficient*, který porovnává výsledek klasifikace s klasifikací vzniklou čistě náhodným procesem zařazování pixelů do tříd. Je založen na předpokladu, že i při čistě náhodném zatřídění bude určité procento zařazeno správně. Může nabývat hodnot od nuly do jedné, přičemž hodnota 0,9 znamená, že jsme se při klasifikaci vyhnuli 90 % chyb, které by vznikly náhodným zatříděním. (Dobrovolný, 1998)

Software Geomatica počítá kromě celkové přesnosti také průměrnou přesnost trénovacích ploch automaticky po každé klasifikaci. Průměrná přesnost je průměrem procent správně klasifikovaných pixelů pro každou třídu (PCI Geomatics, 2011). Na rozdíl od celkové přesnosti tak není vážená počtem pixelů v trénovacích plochách jednotlivých tříd.

3 REŠERŠE LITERÁRNÍCH ZDROJŮ

Rozvoj satelitních snímačů přinesl nové možnosti v hodnocení změn krajinného pokryvu. Dříve používané metody DPZ aplikované na letecké snímky byly doplněny a vylepšeny, například díky většímu počtu spektrálních pásem na satelitních nosičích. Program Landsat, jehož první satelit začal snímat Zemi v roce 1972, umožňuje získat snímky středního prostorového rozlišení v pravidelném intervalu 16 dní (ArcData, 2015). Následující řádky přináší příklady detekce změn krajinného pokryvu ze satelitních snímků v zahraničních i českých výzkumech.

Studie J. Mase (1999) porovnává šest různých metod detekce změn krajinného pokryvu, které rozděluje do tří skupin podle principu fungování. Jsou jimi prahování zvýrazněného obrazu pomocí matematických operací s pásmy, klasifikace multi-temporálních dat a porovnání nezávisle klasifikovaných snímků. Přesnost byla hodnocena na základě 180 náhodných kontrolních bodů, z kterých muselo být 74 vypuštěno, protože spadaly do oblastí pokrytých mraky, vodní plochou či na hranici různých tříd land cover. Jako metodu s největší přesností označil autor porovnání snímků nezávisle klasifikovaných algoritmem řízené klasifikace *Maximum Likelihood*, přičemž podotýká, že ji někteří naopak označují jako méně efektivní.

Sledováním změn krajinného pokryvu za pomoci klasifikace satelitních snímků z nosičů Landsat se ve své práci zabývala Červená (2010), která zkoumala území okresu Náchod v časových horizontech 1979, 1991 a 2001. Použila shodně klasifikátoru *Maximum Likelihood*, který podával nejlepší výsledky. Použité snímky však byly z různých snímačů (MSS, TM a ETM+), což s sebou přinášelo problémy se špatnou porovnatelností snímků. Zejména při použití dat ze snímače MSS s prostorovým rozlišením 57 metrů a pouze se 4 spektrálními pásmy bylo při klasifikaci dosaženo nízké úrovně přesnosti. Autorka doporučuje použití pomocných dat v podobě archivních leteckých snímků či z nich odvozených dat.

Na jiném území, ale s podobnými metodami pracovali též Shalaby a Tateishi (2007), kteří mapovali urbanizaci a další změny krajinného pokryvu na severozápadním pobřeží Egypta. Pro detekci změn použili klasifikace *Maximum Likelihood* na snímcích ze snímačů TM a ETM+ za roky 1987 a 2001. Tyto klasifikované snímky byly následně překryty a byla tak vytvořena nová vrstva zobrazující změny. Autoři považují tuto metodu za nejvíce efektivní, protože díky nezávislé klasifikaci snímků minimalizuje problémy plynoucí z různého stavu atmosféry a z použití různého snímače. Trénovací plochy a kontrolní body pro určení přesnosti byly pořízeny především terénním průzkumem, dále pak z topografických map. Celkem bylo použito 200 kontrolních bodů. Do automatické klasifikace byly navíc integrovány výsledky vizuální interpretace, které zvýšily celkovou přesnost přibližně o 10 %.

Otukei a Blaschke (2010) se ve své studii zabývají porovnáním algoritmů klasifikace. Na zájmovém území v západní Ugandě byla provedena klasifikace Landsat snímků z časových horizontů 1986 a 2001 algoritmy *Maximum Likelihood*, *Support Vector Machine* a *Decision Tree*. Hodnocení přesnosti i vizuální porovnání ukázalo na velmi podobné výsledky těchto tří metod, proto se autoři rozhodli rozlohy

jednotlivých tříd z různých metod průměrovat. Následně pak porovnali rozlohy tříd v pozorovaných horizontech. Jedná se tak opět o post-klasifikační přístup hodnocení změn land cover.

Řízené klasifikaci podstatně většího počtu satelitních snímků se věnovali Sexton et al. (2013). Použili celkem 55 Landsat snímků pokrývajících časový úsek od ledna 1985 do srpna 2007 na území Severní Karolíny v USA. Na snímky byly aplikovány korekce metodou nejtmavšího objektu a byla vypočtena jasová a vlhkostní složka analýzou *Tasseled-Cap* a NDVI pro všechny snímky. Klasifikační systém čítal 13 tříd, pro každou třídu bylo náhodně vybráno 150 bodů na základě národní land cover databáze. Ze snímků s vysokým rozlišením jim pak byla vizuální interpretací přiřazena skutečná třída za roky 1995, 2004 a 2005. Polovina těchto bodů pak posloužila jako trénovací množina, druhá polovina jako kontrolní body. Celková přesnost byla 88 % a kappa koeficient 0,84. S největší přesností byly klasifikovány vodní plochy a lesní porosty. Naopak menších přesností dosahovala klasifikace zástavby a orné půdy, které byly zaměňovány mezi sebou.

Shneider, Grosse a Wagner (2009) při klasifikaci území v deltě Leny kombinují řízenou a neřízenou klasifikaci. V prvním kroku byla neřízená klasifikace využita pro identifikaci oblačnosti, která byla následně odmaskována. Pro klasifikaci krajinného pokryvu bylo použito algoritmu *Minimum Distance*, protože podle autorů může být vhodnější než obvykle používaný klasifikátor *Maximum Likelihood*, pokud je počet trénovacích ploch nízký. Celková přesnost klasifikace dosahovala 77,8 %, kterou autoři považují za dobrou. Uživatelské a zpracovatelské přesnosti za jednotlivé třídy se pohybovaly v rozmezí 50 % až 100 %.

Naopak podobným územím jako tato práce, ale s pomocí jiných metod se věnoval Hájek (2013), který studoval změny krajiny v zázemí vojenských újezdů Brdy a Hradiště od poloviny 19. století. Hlavní zdrojem dat byla databáze LUCC Czechia, která obsahuje informace o využití ploch z let 1845, 1896, 1948, 1990 a 2000. Objektem zkoumání však nebyla přímo plocha vojenských újezdů, ale jejich zázemí a to, jak přítomnost VÚ ovlivňuje využití ploch. VÚ zde byly zkoumány jako bariéra vývoje a předpokládaly proto malé změny ve využití krajiny. Nižší intenzitu změn se však nepodařilo prokázat.

Problematicke vojenských újezdů a ovlivnění jejich okolí se na katedře sociální geografie a regionálního rozvoje PŘF UK dlouhodobě věnuje Chromý. Například společně se Seidlem (2010) studuje ovlivnění území vojenským újezdem Boletice a integraci tohoto marginálního území do regionálního systému.

4 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ A POUŽITÁ DATA

4.1 Zájmové území

Zkoumaným územím jsou dva vojenské újezdy Ralsko a Brdy. V následujících odstavcích je uvedena stručná historie těchto území, jejíž znalost nám pomůže pochopit rozložení krajinného pokryvu a změny ve využití krajiny.

Bývalý vojenský újezd Ralsko byl založen v roce 1950 na severu Čech, mezi městy Mimoň, Doksy, Mnichov Hradiště a Stráž pod Ralskem na ploše 250 km². Před rokem 1945 žilo na tomto území více než 7000 obyvatel, většinou německé národnosti. Největšími obcemi byly Kuřivody, Svěbořice a Hradčany, poblíž poslední bylo v roce 1945 vybudováno vojenské letiště. Po odsunu Němců byla oblast dosídlována převážně českým obyvatelstvem. V té době se však již jednalo o vzniku vojenského prostoru a do roku 1952 bylo pro vojenské účely uvolněno 15 vesnic, z kterých bylo vystěhováno přes tři tisíce obyvatel. Po srpnové invazi v roce 1968 se Ralsko stalo největším vojenským územím využívaným Sovětskou armádou. To s sebou přineslo výstavbu velkého počtu budov, likvidaci původní osídlení a v některých oblastech poměrně značné znečištění vody a půdy. V roce 1991 prostor opustilo asi 20 000 sovětských občanů (vojáků i rodinných příslušníků) a ještě v téže roce bylo rozhodnuto o zrušení vojenského újezdu. V té době zde zůstalo asi jen 250 obyvatel. Území bylo rozděleno mezi 12 okolních obcí a jednu nově vzniklou – Ralsko. Byly zahájeny průzkumné práce následované rozsáhlými sanačními pracemi a v roce 1994 začala privatizace majetku na území bývalého vojenského újezdu. Většina budov ale nenašla využití, chátrala a byla zdemolována. V současné době probíhají aktivity na úrovni státu, sdružení okolních obcí, ale i podnikatelů o vytvoření koncepce nového využití. (Poštołka, 1998)

V roce 2000 byla na území bývalé střelnice Židlov založena stejnojmenná obora s rozlohou 3786 ha, což z ní dělá druhou největší v ČR. Na jejím území se nachází řada společenstev od lesních komplexů až po dnes již zarůstající volné plochy (iMyslivost, 2012). V září roku 2014 bylo CHKO Kokořínsko rozšířeno o oblast Dokesko, která nyní pokrývá celou jižní a západní část bývalého VÚ (Zákon, 2014).

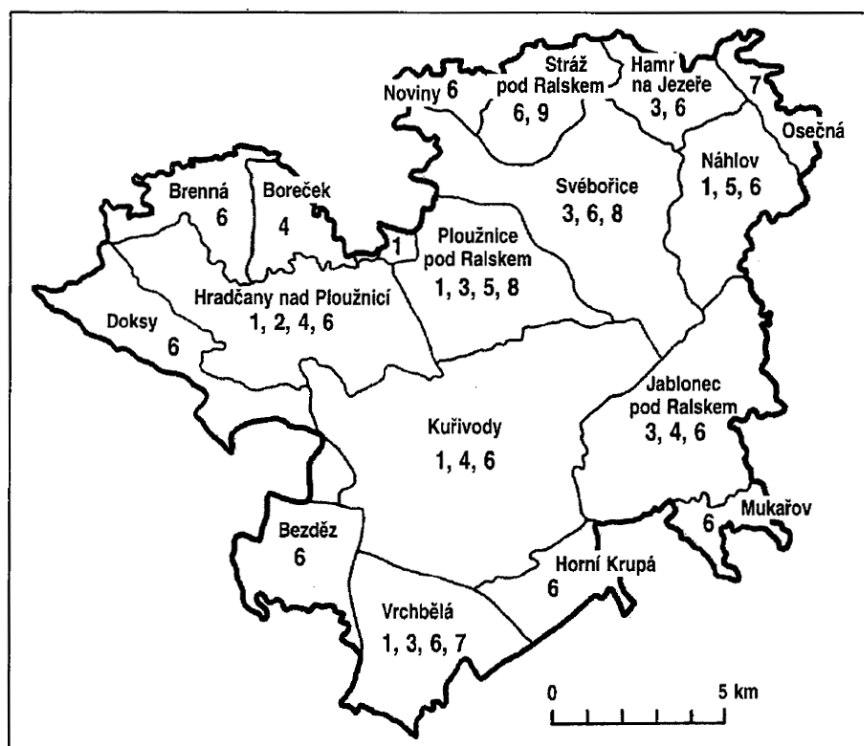
Vojenský újezd Brdy se nachází ve středních Čechách přibližně 50 km jihozápadně od Prahy, mezi městy Příbram, Rokycany (případně Mirošov), Hořovice a Rožmitál pod Třemšínem na ploše 260 km². Historie újezdu sahá do 20. let 20. století, kdy bylo rozhodnuto o zřízení Střeleckého cvičiště v Jincích. Prostor Brd byl vybrán z důvodu řídkého osídlení, dobré dopravní dostupnosti z hlavního města a rozmanitosti hornatého reliéfu, tehdejší výměra cvičiště byla 206,8 km². Byly odlesněny dopadové plochy Jordán, Tok a Brda a také plochy pro tanková a pěchotní cvičení. Po vstupu vojsk nacistického Německa v roce 1938 bylo území střelnice zabráno a byl zde vyhlášen zákaz vstupu. V téže době bylo rozhodnuto o rozšíření újezdu a obce Přední a Zadní Záběhlá, Padrť, Kolvín, Velcí, Skořice, Příkosice, Hořice, Visky, Trokavec, Štítov a Myť byly vysídleny. S koncem druhé světové války se hranice střelnice vrátily

do původní podoby a obyvatelé (mnohdy zčásti již poničených) obcí se mohli vrátit. V roce 1950 bylo území přejmenováno na Vojenský újezd Brdy a v roce 1952 bylo rozhodnuto o opětovném rozšíření plochy újezdu do podoby, která jen s malými úpravami vydržela až do současnosti. Znovu se tak museli stěhovat obyvatelé obcí Velcí, Hrachoviště, Přední a Zadní Záběhlá, Padrtě a Kolvín. Během následujících let zde probíhaly výcvikové akce, po roce 1991 se však využití újezdu postupně snižovalo a v roce 2007 byly vybrané okrajové oblasti zpřístupněny ve zvláštním režimu veřejnosti (Horská, 2012). Zákonem 15/2015 (Zákon, 2015) se vojenský újezd Brdy ruší k datu 31. 12. 2015 a území bude rozděleno přílehlým obcím. Na jeho území by měla vzniknout CHKO Brdy.

Z předchozího textu je patrné, že obě území mají za sebou podobnou historii, i když území Ralska bylo před vznikem vojenského újezdu více osídlené. Paralelu můžeme vidět v rušení újezdů. Brdy se jej dočkaly o 24 let později a je možné, že se budou vyvíjet podobným způsobem jako Ralsko v 90. letech minulého století.

Hranice bývalého VÚ Ralsko byly získány georeferencováním (jako podklad pro georeferenci posloužila vrstva základních sídelních jednotek) a následnou vektorizací ilustrační mapy ze článku Dařílkové (1998), na které je též patrné nové využití prostoru (viz Obrázek 6). Podrobnější podklad nebyl ve veřejně přístupných zdrojích nalezen, při použití snímků s prostorovým rozlišením 30 m je však tento podklad dostatečný. Hranice VÚ Brdy byly získány z databáze ArcČR od firmy ARCDATA Praha.

Do zájmových území byl zahrnut pás tří kilometrů okolo VÚ, aby mohly být zachyceny i změny v blízkém zázemí újezdů. Takto vzniklé oblasti jsou dále nazývány zájmové území Ralsko a zájmové území Brdy a jejich přehledové mapy jsou uvedeny jako Příloha 1 a Příloha 2.



Navrhované funkční využití jednotlivých částí bývalého vojenského výcvikového prostoru Ralsko (převažující funkce). 1 – trvalé bydlení; 2 – občanská vybavenost; 3 – rekreace a sport; 4 – výroba, sklady; 5 – zemědělství; 6 – revitalizace krajiny; 7 – lázeňství; 8 – speciální využití, zvláštní zájmy; 9 – dlouhodobé zájmy, útlum těžby uranu, letiště.

Obrázek 6: Vymezení vojenského újezdu Ralsko (Zdroj: Dařílková, 1998)

4.2 Použitá data

4.2.1 Satelitní snímky LANDSAT 5

Nejdůležitějším zdrojem dat pro tuto bakalářskou práci jsou archivní satelitní snímky Landsat poskytované společností *U. S. Geological Survey* bezplatně na internetovém portálu *earthexplorer.usgs.gov*. Bylo vyzkoušeno více datových zdrojů z tohoto archivu, avšak pro dobrou porovnatelnost bylo použito pouze snímků ze snímače TM, instalovaného na satelitu Landsat 5. Důsledkem toho mají snímky za všechny časové horizonty i území stejné prostorové, spektrální i radiometrické rozlišení, což je přínosné pro srovnávací analýzu. Snímky jsou zpracovány algoritmy *Level 1 Product Generation System* (LPGS), použité snímky konkrétně pomocí *Standard Terrain Correction (Level 1T)*, která obsahuje systematické radiometrické a geometrické korekce za použití pozemních kontrolních bodů a digitálního modelu terénu. Snímky jsou ve formátu *GeoTIFF*, georeferencované do souřadnicového systému UTM s referenčním elipsoidem WGS84 a rozlišením 30 m, převzorkované metodou kubické konvoluce, a to včetně termálního pásma, které má původní rozlišení 120 m. (USGS, 2014a)

V archivu se nachází dva typy snímků, prvním typem jsou snímky obsahující původní DN hodnoty, na druhý typ snímků (*Landsat CDR*) jsou již aplikovány atmosférické korekce a hodnoty snímků se tak blíží skutečné odrazivosti povrchu (viz Kapitola 4.2.2).

Snímky pro následnou klasifikaci byly vybírány podle následujících kritérií:

- Všechny snímky musejí být zcela bezoblačné v oblasti zájmových území.
- Snímky by měly být pořízené ve vegetačním období, a to nejlépe tak, aby se data pořízení snímků za jednotlivé časové horizonty nejméně lišila.
- Časový rozdíl mezi nejstarším a nejaktuálnějším snímkem by měl být co největší. Prostřední snímek by měl pocházet přibližně z poloviny tohoto období. Snímky by měly pokrývat nejdůležitější vývojové etapy od 80. let minulého století.
- Pokud je to možné, měl by snímek pokrývat obě dvě zájmová území.
- Snímky by neměly obsahovat výrazné chyby (chybné pixely).
- Snímky pocházejí z jednoho snímače a procházejí stejným procesem korekcí.

Na základě těchto požadavků byly vybrány snímky:

Tabulka 1: Použité snímky (Zdroj: vlastní tvorba)

Území	Rok	Datum	Název snímku
Ralsko	1986	15. 6.	LT51910251986166AAA08
Brdy	1986	5. 5.	LT51920251986125XXX06
Ralsko	1998	10. 8.	LT51920251998222KIS00
Brdy	1998	10. 8.	LT51920251998222KIS00
Ralsko	2011	26. 5.	LT51920252011146KIS00
Brdy	2011	26. 5.	LT51920252011146KIS00

Jak je patrné z předchozí tabulky, kromě roku 1986 byly nalezeny takové snímky, které pokrývají vždy obě zájmová území naráz. Jedná se snímky na dráze (path) 192 a řádku (row) 025 globálního záznamového systému WRS-2. Pouze pro Ralsko v roce 1986 je použit snímek z dráhy 191 a řádku 025. Všechny snímky pocházejí ze stejného senzoru TM na nosiči Landsat 5 a pásma snímků mají proto stejné parametry, uvedené v Tabulka 2. Nevýhodu sesbírané datové sady snímků lze spatřovat v relativně odlišné době nasnímání snímků v letech 1986/2011 a 1998.

Tabulka 2: Spektrální pásma TM (Zdroj: Kolář et al. 2000, s. 153)

Pásma	Spektrální záběr [μm]	Prostorové rozlišení [m]
1 viditelné modré	0,45 – 0,52	30
2 viditelné zelené	0,52 – 0,60	30
3 viditelné červené	0,63 – 0,69	30
4 blízké infračervené	0,76 – 0,90	30
5 blízké infračervené	1,55 – 1,75	30
6 termální	10,4 – 12,5	120
7 střední infračervené	2,08 – 2,35	30

4.2.2 Snímky Landsat CDR s aplikovanými atmosférickými korekcemi

Landsat CDR je nová datová sada poskytovaná bezplatně společností USGS. Jde o původní snímky ze satelitů Landsat 4, 5, 7 a 8, na které byly aplikovány atmosférické korekce a hodnoty pixelů se tak blíží skutečným hodnotám odrazivosti povrchu. Snímky jsou generovány za pomoci specializovaného softwaru *Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System* (LEDAPS), původně vytvořeným v NASA. Tento software aplikuje atmosférické korekce na *Level-1 Landsat* data. Hodnoty vodní páry, ozonu, geopotenciální výšky, optické tloušťky aerosolů a digitální model terénu jsou vstupními parametry do procesu, který se nazývá *Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum* (6S). Výstupem jsou následující data:

- *Surface reflectance* (SR) – snímky vyjadřující skutečnou odrazivost na povrchu. Na termální pásma korekce aplikovány nejsou a v datasetu se nenachází. Součástí jsou též masky, které indikují přítomnost oblačnosti, stínů oblačnosti, sněhu, vodních ploch a husté vegetace. Posledním produktem je vrstva *Atmospheric Opacity*, která vyjadřuje nepropustnost atmosféry.
- *Top of Atmosphere* (TOA) – snímky vyjadřující hodnoty odrazivosti po průchodu atmosférou.
- *Brightness Temperature* – obsahuje korigované hodnoty termálního pásma, tak aby odpovídaly hodnotám po průchodu atmosférou (obdobně jako TOA).
- Spektrální indexy – obsahují již spočtené nejpoužívanější spektrální indexy aplikované na SR snímky. (USGS, 2015)

Snímky jsou zpracovány po žádosti podané na earthexplorer.usgs.gov (zde je možné obdržet pouze sadu *Surface Reflectance*) nebo na stránce espa.cr.usgs.gov, kde je možné si detailně navolit požadované výstupy. Zpracování obvykle trvá 2 až 5 dní (USGS 2014b). Zemek et al. (2014) podotýká, že do atmosférických korekcí termálních dat vstupují jiné proměnné než do atmosférických korekcí pásem zkoumajících odrazivost povrchu. Jako příklad softwaru, který umožňuje atmosférické korekce

jak v optické, tak termální části spektra, uvádí model ATCOR. Pravděpodobně z tohoto důvodu tak termální pásmo není atmosféricky korigováno.

Při práci bylo nejprve použito původních nekorigovaných Level-1 Landsat snímků, protože snímky *Landsat CDR* byly zpřístupněny až v průběhu práce. Poté byly pro časový horizont 2011 a území Brdy vyzkoušeny i tyto korigované CDR snímky a bylo zjištěno, že po aplikaci stejných trénovacích ploch a kontrolních bodů přesnost klasifikace výrazně klesla (přesné hodnoty uvádí Tabulka 3). Velké plochy orné půdy byly nad daty CDR vyklasifikovány chybně jako zástavba. Podobného výsledku bylo dosaženo také při klasifikaci původních snímků bez použití termálního pásma. Z toho lze usuzovat, že absence termálního pásma v datech CDR má velký vliv na přesnost klasifikace řešeného území.

*Tabulka 3: Porovnání celkové přesnosti klasifikace s použitím Level 1 Landsat snímků a snímků CDR
(Zdroj: vlastní výpočty v sw Geomatica)*

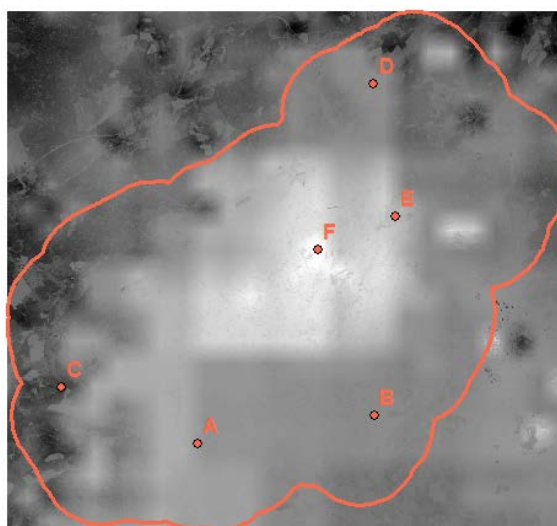
	S Level-1 termálním pásmem	Bez termálního pásma
Level-1 Landsat snímky	90,0 %	79,5 %
Snímky CDR	89,1 %	71,7 %

Pro vyšetření, jaký dopad bude mít použití snímků s atmosférickými korekcemi, byla dále zkoumána korelace mezi prvním pásmem nekorigovaných a CDR snímků. Vycházelo se z předpokladu, že pokud jsou atmosférické korekce ve všech částech území stejné, a tudíž by konstanty c_0 a c_1 ve vztahu $L=c_0+c_1*DN$ (podle Peňáze, 2013), kde DN je původní a L korigovaná hodnota pixelu, byly pro všechny pixely shodné, nepřineslo by použití korigovaných snímků žádné změny. Všechny hodnoty pixelů by totiž byly pouze shodně posunuté. Na snímku byly v několika oblastech lineární regresí určeny hodnoty těchto konstant (viz Tabulka 4) a bylo zjištěno, že konstanty nejsou ve všech místech stejné, ale velmi podobné (zde je nutné podotknout, že hodnoty konstant nemusí být zcela přesně odvozeny, protože DN i CDR hodnoty jsou zaokrouhleny na celá čísla). Při porovnání s vrstvou *Atmospheric Opacity* zde byla vidět jasná závislost mezi touto vrstvou a hodnotou konstant (srovnej Obrázek 7 a Obrázek 8). Obrázek 7 vyjadřuje hodnoty relativní konstanty, pokud by absolutní konstanta byla v celém snímku rovna konstantě v bodu A, tudíž -785,9. Hodnoty se v tomto snímku pohybují od 17,28 do 18,80 a z toho je tedy patrné, že na ploše celého území byly uplatněny velmi podobné atmosférické korekce.

Tabulka 4: Hodnoty absolutních a relativních konstant na referenčních bodech (Zdroj: vlastní výpočty)

	c_1	c_0	c_1 pokud $c_0 = -785,9$
A	18,19	-785,9	18,17
B	18,09	-785,9	18,11
C	18,36	-821,8	17,78
D	18,13	-787,0	18,12
E	18,09	-775,1	18,29
F	17,78	-736,8	18,76

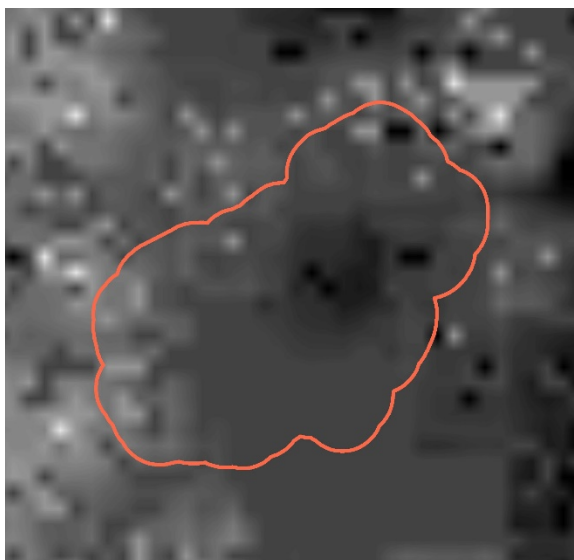
Pozn.: c_0 je absolutní konstanta, c_1 je relativní konstanta ve vztahu $L = c_0 + c_1 * DN$



Obrázek 7: Relativní konstanta a poloha referenčních bodů (Zdroj: USGS, vlastní tvorba)

Pozn.: Rastr zobrazuje hodnoty relativní konstanty, pokud by se absolutní konstanta rovnala -785,9.

Pravděpodobně jsou výsledné snímky funkcí pouze rastru *Atmospheric Opacity*, pro toto tvrzení však nebyla nalezena opora v žádném dokumentu popisujícím vlastnosti produktů *Landsat CDR*. Stejně tak USGS nikde neuvádí, jak a pro jaké měřítko se vrstva neprůhlednosti atmosféry počítá. Při pohledu na Obrázek 8 je však patrné, že tato vrstva je zpracovávána spíše pro malá měřítka (resp. vstupní data při tvorbě této vrstvy jsou malých měřítek) a na takto malém území podle názoru autora práce nedokáže dobře postihnout rozdílné vlivy atmosféry. Naopak vrstva v tomto přiblížení vykazuje určitý šum.



Obrázek 8: Vrstva Atmospheric Opacity pro území Brdy (Zdroj: USGS, vlastní tvorba)

Na základě výše uvedených skutečností bylo rozhodnuto, že klasifikace bude provedena na původních nekorigovaných Landsat Level-1 snímcích. Song et al. (2001) uvádí, že v případě klasifikace jednotlivých snímků není aplikace atmosférických korekcí nutná.

4.2.3 Letecké snímky

Dalším důležitým zdrojem dat jsou archivní letecké snímky, které byly použity pro vytvoření sítě kontrolních bodů, podle kterých byla následně určována přesnost klasifikace, ale také pro získání základního přehledu o území. Letecké snímky sloužily také jako pomocný zdroj při tvorbě trénovacích ploch.

Pro rok 2011 bylo využito barevného ortofota poskytovaného pomocí ArcGIS serveru jako WMS vrstva Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČÚZK). Území vojenského újezdu Brdy bylo nasnímáno ve dnech: 19. 5., 21. 7. a 7. 9. 2013, území vojenského újezdu Ralsko pak v datech: 18. 6., 13. 6., 19. 6. 2013, vše s prostorovým rozlišením 25 cm. (ČÚZK, 2015)

Jako referenční snímky za rok 1998 byly použity archivní letecké černobílé snímky, poskytnuté opět ČÚZK. Úřad zapůjčuje studentům pro vyhotovení kvalifikační práce omezené množství dat zdarma. Získané snímky byly pořízeny pro Brdy dne 2. 5. 2001 a pro Ralsko dne 1. 5. 1999, pro Ralsko se tedy výrazně více blíží zkoumanému roku 1998. Prostorové rozlišení je 50 cm. Snímky byly již zasazené do souřadnicové sítě S-JTSK (ČÚZK, 2015). Pro každé území bylo k dispozici pět snímků o rozměrech přibližně 5,3 x 4,4 km, byly zvoleny tak, aby pokrývaly charakteristické části ZÚ a daly se tak na jejich základě nalézt kontrolní body a zkontrolovat trénovací plochy. Na území Brd zobrazuje jeden snímek okolí Padrťských rybníků a část cílové plochy Kolvín, další čtyři pak území zahrnující cílové plochy Tok, Jordán, Brda, obec Obecnice a okolní lesní porosty. Na území Ralska zobrazují snímky plochu zahrnující Stráž pod Ralskem, vrchol Ralsko, Mimoň, hradčanské letiště a židlovskou střelnici.

Za nejstarší sledovaný horizont (1986) ČÚZK snímky nedisponuje, proto byly zakoupeny černobílé snímky z archivu Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu v Dobrušce (VGHMÚř). Pro oblast Brd bylo k dispozici 6 snímků z roku 1986 a pro oblast Ralska 5 snímků z roku 1989, přesná data nejsou známa, je však patrné, že byly snímány ve vegetačním období. Snímky měly podobu naskenovaných původních analogových snímků, takže je bylo nutné nejprve georeferencovat. Po tomto procesu zobrazoval každý snímek území přibližně 6,5 x 6,5 km s prostorovým rozlišením přibližně 0,5 m. Snímky byly voleny tak, aby pokrývaly podobné území jako snímky za časový horizont 1998.

5 METODIKA

5.1 Předzpracování dat

Snímky z archivu Landsat 5 jsou poskytovány ve formátu TIFF, kdy jeden soubor odpovídá jednomu pásmu. Pro další práci bylo potřebné tyto soubory sloučit do datové sady, kdy vždy jeden soubor odpovídá jednomu časovému horizontu na jednom území. Pro tuto operaci byl použit program *Geomatica* a datový typ PIX, který umožňuje uložit kromě rastrových dat i data vektorová (např. kontrolní body pro klasifikaci). Rozlišení a souřadnicový systém byly zvoleny stejné, jako mají vstupní snímky, tzn. 30 m a UTM *Zone 33*, tudíž při převodu již nedocházelo k dalšímu převzorkování. Kvůli snížení výpočetní a datové náročnosti byly snímky oříznuty podle hranic zájmového území.

Jak již bylo uvedeno v Kapitole 4.2, snímky prošly procesem systematických radiometrických a geometrických korekcí, na snímky *Landsat CDR* byly dokonce aplikovány atmosférické korekce. Z tohoto hlediska tedy nebylo zapotřebí žádných dalších operací. Snímky byly vizuálně zkontrolovány překrytím, kdy bylo možné konstatovat, že polohová chyba se pohybuje pod hranicí jednoho pixelu a snímky jsou tak velmi dobře ztotožněny.

5.2 Klasifikační třídy

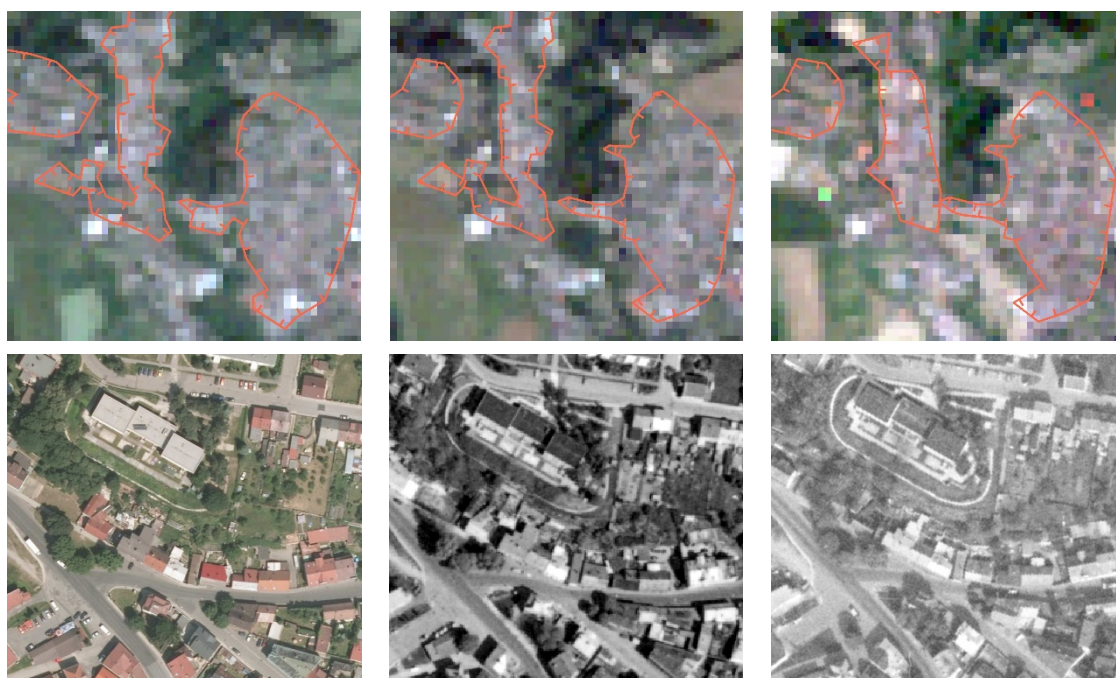
Při volbě jednotlivých tříd krajinného pokryvu bylo částečně použito klasifikačního systému *CORINE*. *CORINE Land Cover* je projektem Evropské agentury pro životní prostředí, jehož cílem je vytvoření databáze krajinného pokryvu Evropy na základě jednotné metodiky. Obsahuje data pro rok 1990, 2000, 2006, poslední pro rok 2012 je v procesu tvorby. Databáze je tvořena vizuální interpretací družicových snímků, s nejmenší mapovací jednotkou 25 ha pro plošné objekty a 100 m pro liniové objekty. Klasifikačních tříd je 44 a jsou rozděleny do tří úrovní (Copernicus Programme, 2015). Třídy Městská zástavba, Orná půda, Vodní plochy jsou shodné s třídami použitými v této práci, některé další jsou výsledkem sloučení či upravení původní *CORINE* tříd. S přihlédnutím ke specifikům vegetace vojenských újezdů však byly vytvořeny i nové třídy. Tabulka 5 přehledně zobrazuje zvolený klasifikační systém, který je dále podrobně popsán. Obrázek 9 až Obrázek 16 zobrazují ukázky trénovacích ploch pro jednotlivé třídy land cover vždy pro všechna tři období na satelitních a leteckých snímcích.

Tabulka 5: Použitý klasifikační systém (Zdroj: vlastní)

Zástavba
Orná půda
Trvalé travní porosty
Povrchy s řídkou vegetací
Sukcesní porosty
Jehličnaté lesy
Listnaté lesy
Vodní plochy

Zástavba

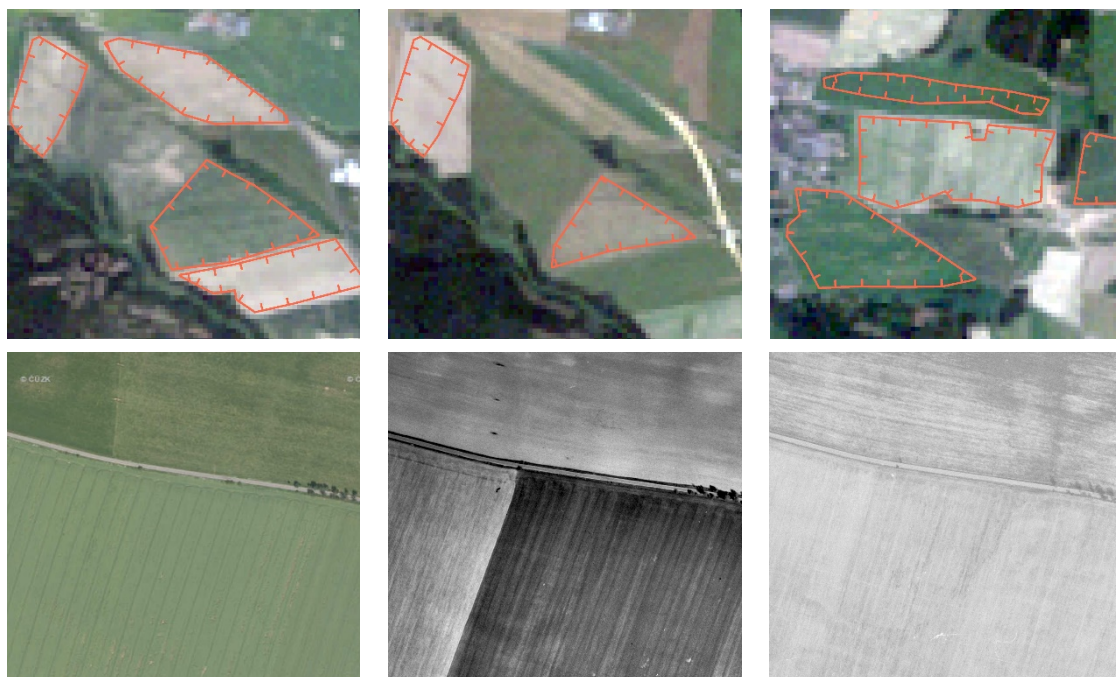
Do této kategorie patří umělé povrchy měst a vesnic. Původně bylo uvažováno o dvou kategoriích – souvislá a nesouvislá zástavba, protože se ale souvislá zástavba nachází na zkoumaných územích velmi zřídka, byly tyto dvě kategorie sloučeny. Povrch v těchto oblastech je velmi členitý a na výsledné odrazivosti se podílí celá řada objektů, jsou to především střechy a stěny budov, zpevněné povrchy komunikací (asfalt, beton), ale také vegetace na zahradách či ulicích. Podle definice CORINE (European Environment Agency, 1995) je souvislá městská zástavba taková, kde budovy, silnice a ostatní umělé povrchy pokrývají více jak 80 % plochy. U nesouvislé městské zástavby pak musí pokrývat alespoň většinu plochy, přičemž se zde vyskytují nesouvislé, ale početné plochy vegetace, případně holé půdy.



Obrázek 9: Ukázka trénovacích ploch zástavby za roky 2011, 1998 a 1986
(Zdroj: USGS, ČÚZK, vlastní tvorba)

Orná půda

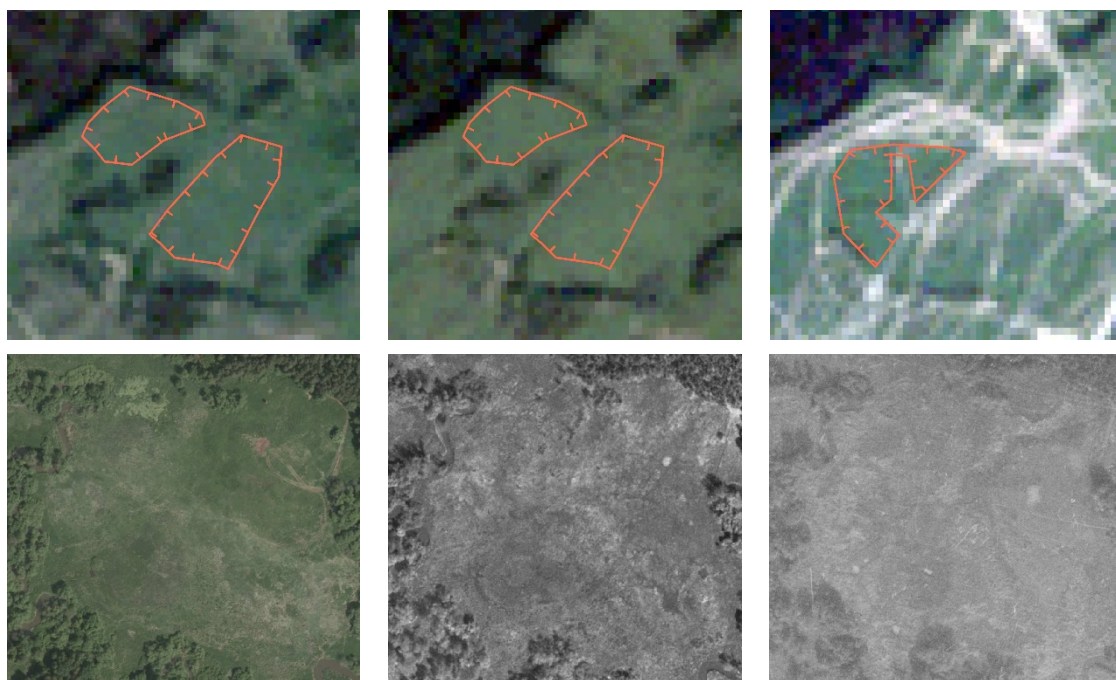
V této kategorii jsou zařazeny veškeré plochy využívané pro pěstování plodin. Kategorie vychází z CORINE (European Environment Agency, 1995) kategorie Nezavlažovaná orná půda (zahrnující obiloviny, luskoviny, píce, kořenové plodiny, pěstování květin a stromů ve školkách a půdu ležící ladem), na rozdíl od ní však nezahrnuje plochy lesních školek. Orné plochy prochází během vegetačního cyklu plodin značnými změnami, což se promítá i do odrazivosti tohoto povrchu. V důsledku toho, že v době snímání jsou jednotlivá pole v různé fázi růstu rostlin (od holé orné půdy až po rozkvetlou řepku či vzrostlou kukuřici), není většinou možné takto různorodé plochy považovat za jednu spektrální třídu a je nutné vytvořit tříd několik, tak aby jednotlivé trénovací plochy v nich měly podobné spektrální charakteristiky. Tyto spektrální třídy jsou pak v post-klasifikačním procesu sloučeny do jedné výsledné land cover kategorie. Důraz byl kladen spíše na přírodní plochy uvnitř vojenských újezdů, a proto bylo většinou dostačující rozdělit orné plochy do tří až čtyř spektrálních tříd.



Obrázek 10: Ukázka trénovacích ploch orné půdy za roky 2011, 1998 a 1986
(Zdroj: USGS, ČÚZK, vlastní tvorba)

Trvalé travní porosty

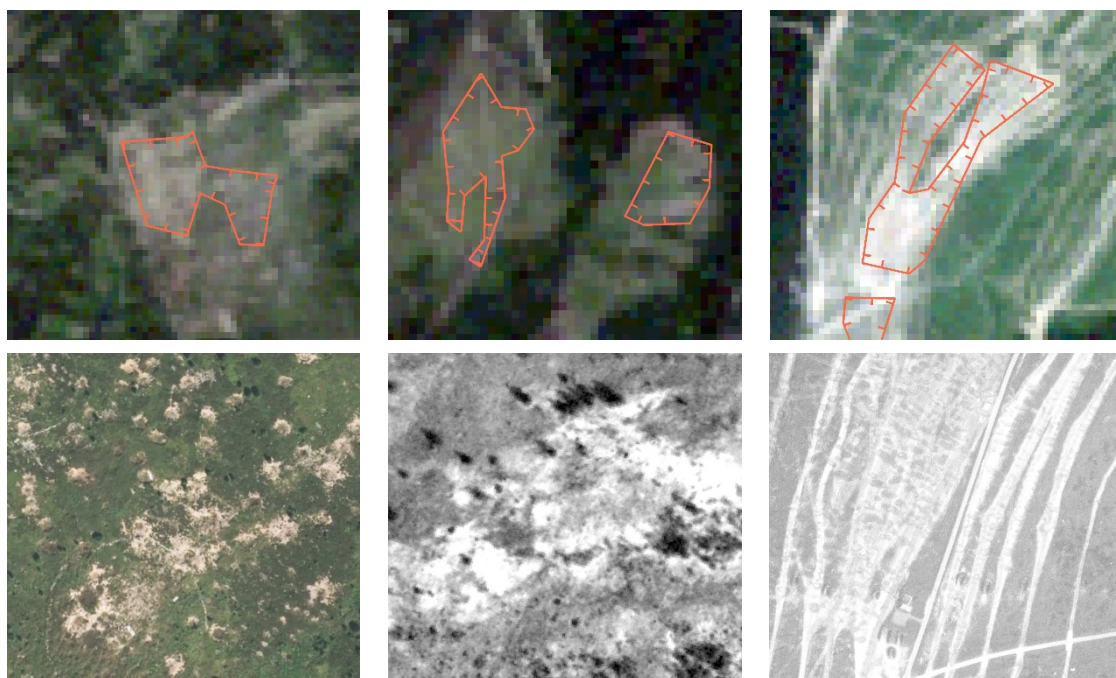
Třída trvalých travních porostů obsahuje louky a pastviny, na území vojenských újezdů pak zatravněné dopadové plochy a střelnice. Databáze CORINE (European Environment Agency, 1995) rozlišuje Louky a pastviny (určené pro pastvu, případně mechanicky sklizené) a Přírodní louky (vyvinuté s minimálním lidským zásahem). Spektrálními příznaky jsou ale tyto dvě kategorie nerozlišitelné, a proto jsou v této práci sloučeny v jednu. Pro odlišení těchto ploch a orné půdy bylo využito leteckých snímků, kde byla rozhodující textura.



*Obrázek 11: Ukázka trénovacích ploch trvalých travních porostů za roky 2011, 1998 a 1986
(Zdroj: USGS, ČÚZK, vlastní tvorba)*

Povrchy s řídkou vegetací

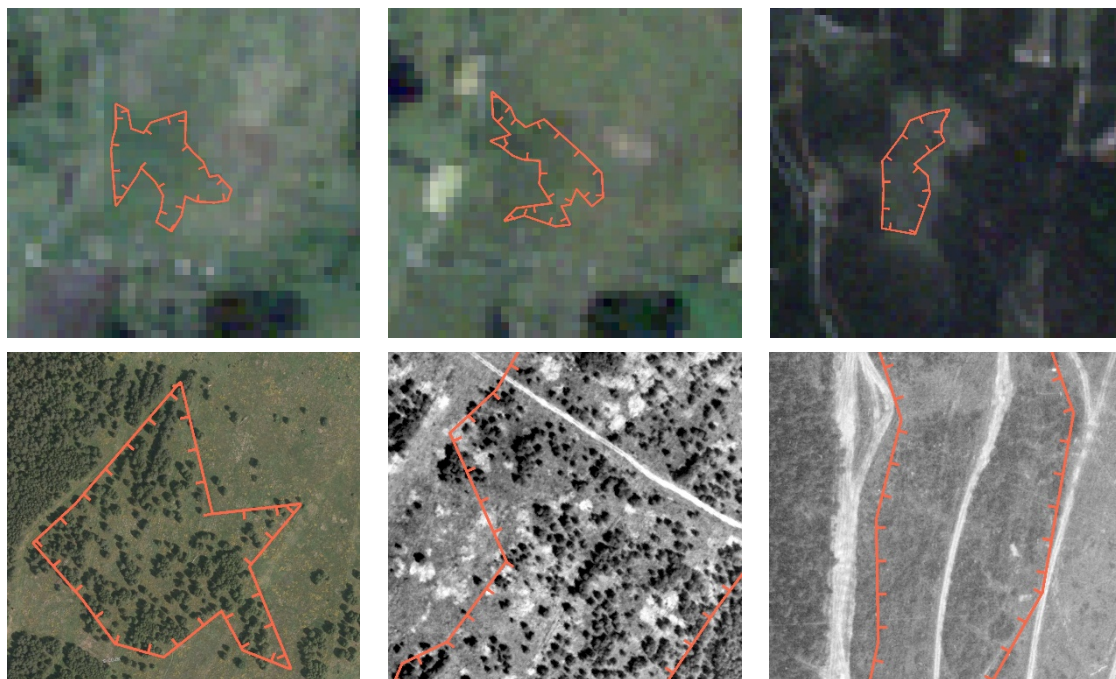
Jedná se o povrchy specifické pro vojenské újezdy. Patří sem zejména dopadové plochy, střelnice a tankodromy, které nejsou souvisle zatravněné, a částečně se tak jedná o holou půdu (viz Obrázek 12). Do této kategorie spadají též nově vykácené části lesa. Půda bez vegetace zde zabírá minimálně 30 % plochy.



*Obrázek 12: Ukázka trénovacích ploch povrchů s řídkou vegetací za roky 2011, 1998 a 1986
(Zdroj: USGS, ČÚZK, vlastní tvorba)*

Sukcesní porosty

Kategorie sukcesní porosty obsahuje zejména travní plochy se solitérními stromy či keři, které tuto plochu postupně zarůstají, a na jejich místě povětšinou vzniká nový les. Nejedná se o souvislý porost, spíše o izolované krajinné útvary. Na území vojenských újezdů se jedná o již nepoužívané prostory (cílové plochy, tankodromy), které zarůstají náletovými dřevinami. Plocha korun stromů a keřů zde zabírá 30 – 70 % celkové plochy. Mimo vojenské újezdy jsou v Česku takové plochy poměrně vzácné. Databáze CORINE (European Environment Agency, 1995) obsahuje podobnou třídu Nízký porost v lese, která obsahuje zanikající či nově vznikající les.



Obrázek 13: Ukázka trénovacích ploch sukcesních porostů za roky 2011, 1998 a 1986
(Zdroj: USGS, ČÚZK, vlastní tvorba)

Jehličnaté lesy

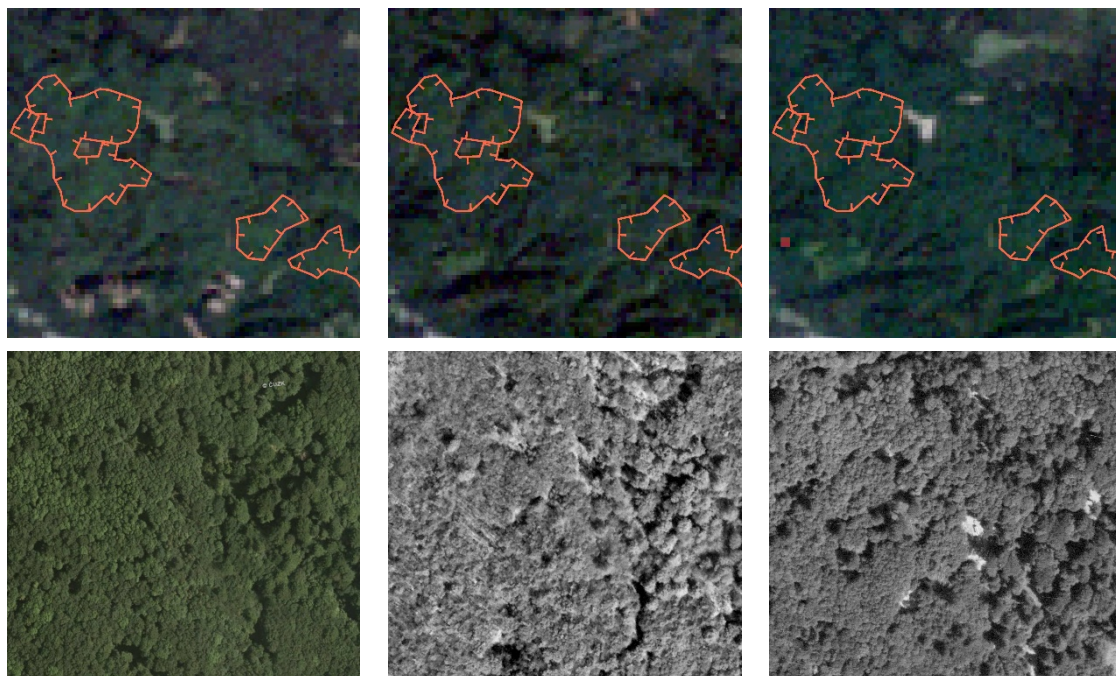
Kategorii tvoří území, které pokrývá souvislý les, kde koruny stromů tvoří více než 70 % celkové plochy. Jehličnany přitom zabírají více než 70 % plochy korun stromů. V původní kategorizaci bylo uvažováno o třídě smíšený les, kde by jehličnany či listnáče nepřevyšovaly 70% podíl na ploše korun stromů. Tato kategorie však byla z důvodu velmi nízkého zastoupení na zájmových územích rozdělena mezi kategorie jehličnatý a listnatý les.



*Obrázek 14: Ukázka trénovacích ploch jehličnatých lesů za roky 2011, 1998 a 1986
(Zdroj: USGS, ČÚZK, vlastní tvorba)*

Listnaté lesy

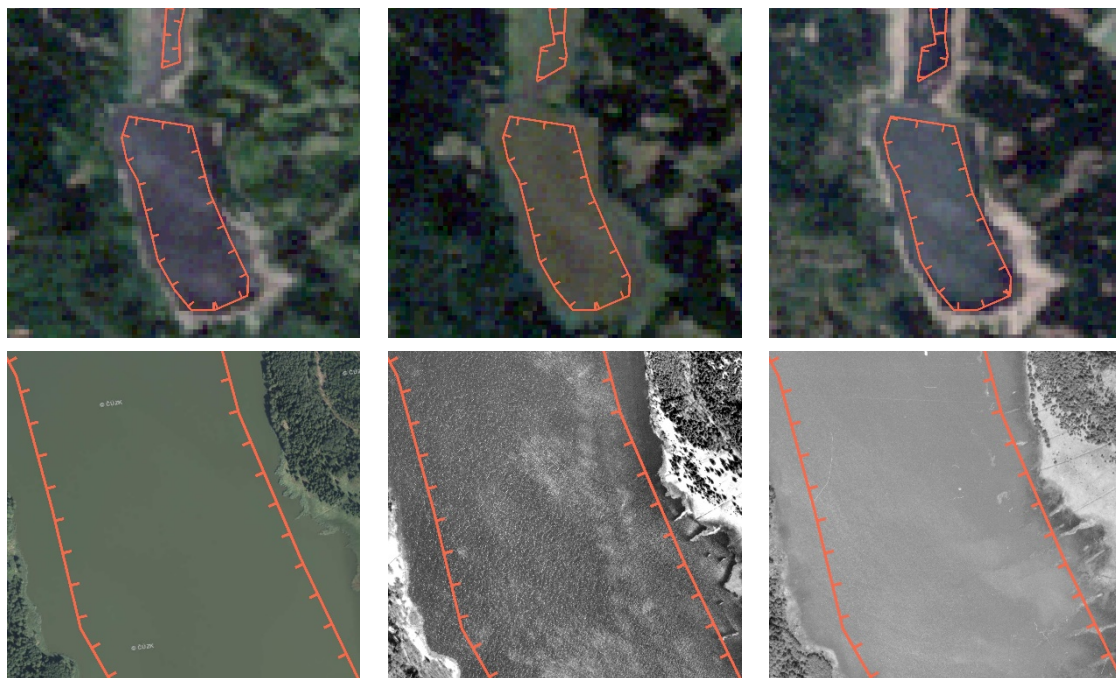
Kategorii tvoří území, které pokrývá souvislý les, kde koruny stromů tvoří více než 70 % celkové plochy. Listnáče přitom zabírají více než 70 % plochy korun stromů. Pro nalezení trénovacích ploch bylo používáno zobrazení satelitních snímků v nepravých barvách v barevné syntéze 432, kde se listnaté stromy zobrazují červenou barvou, naproti tomu jehličnany jsou podstatně tmavší.



*Obrázek 15: Ukázka trénovacích ploch listnatých lesů za roky 2011, 1998 a 1986
(Zdroj: USGS, ČÚZK, vlastní tvorba)*

Vodní plochy

Kategorie obsahuje všechny vodní nádrže, rybníky a jezera. Součástí jsou též vodní toky, na zájmových územích se však nevyskytuje žádný vodní tok, který by byl ze satelitních snímků rozlišitelný.

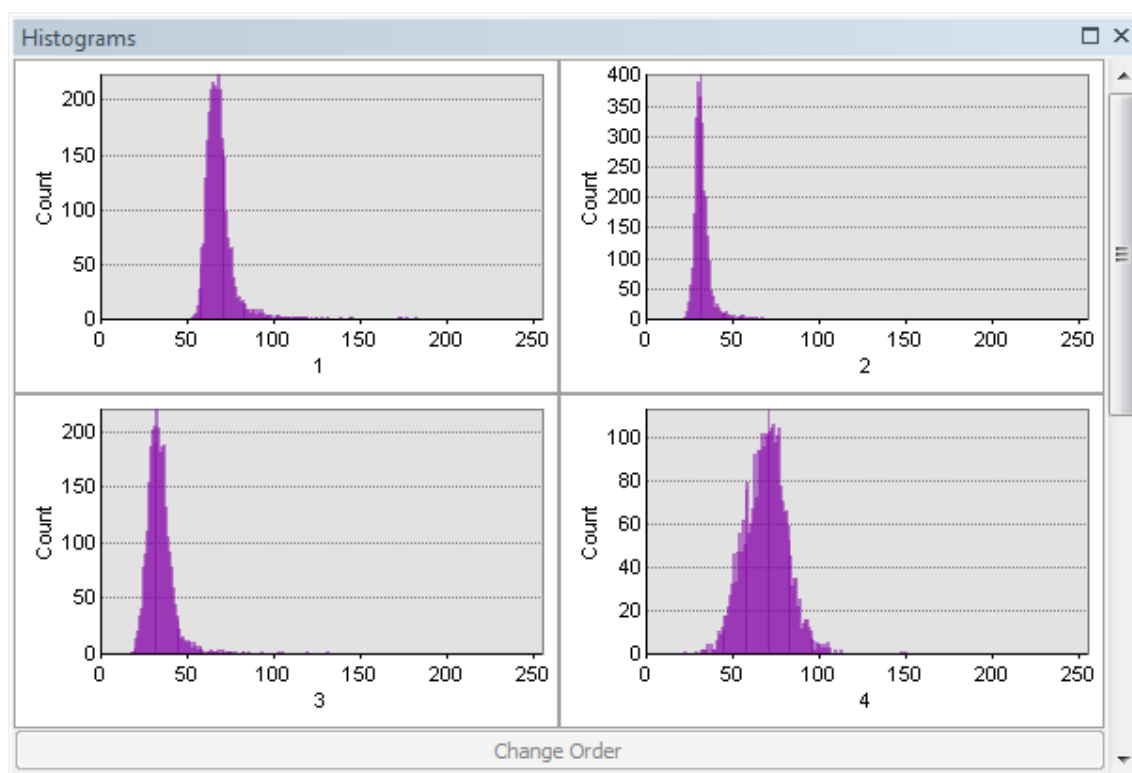


Obrázek 16: Ukázka trénovacích ploch vodních ploch za roky 2011, 1998 a 1986
(Zdroj: USGS, ČÚZK, vlastní tvorba)

5.3 Klasifikace land cover

Klasifikace snímků byla prováděna v programech *ArcGIS* a *Geomatica*. Na začátku práce byly vyzkoušeny různé metody řízené i neřízené klasifikace. Dle prvotních testování nejlepších výsledků (největší přesnosti) dosáhl algoritmus *Maximum Likelihood*, proto bylo zvoleno, že takto budou klasifikovány všechny snímky. Dále bylo nutné zvážit, která pásma budou do klasifikace vstupovat. Pro první řešení snímek bylo vyzkoušeno více možností (všechna pásma, absence pásma termálního, všechna pásma včetně spočteného NDVI). Největší přesnosti dosáhla metoda, kdy byla všechna pásma nejprve přetransformována pomocí PCA (viz Kapitola 2.4.3) a tato pásma pak vstupovala do klasifikace. Vlastností PCA je, že většinu informace shromáždí jen do prvních pásem, tudíž není nezbytně nutné provádět klasifikaci se všemi pásmy. Při transformaci snímků podle PCA bylo ze zprávy o průběhu procesu zjištěno, že první 4 komponenty obsahují 99,95 % informace, i přesto však klasifikace při ponechání všech 7 komponent vykazovala lepší výsledky než při vynechání poslední komponenty (respektive posledních dvou a tří). Jelikož je již dnes výpočetní technika dostatečně výkonná a výpočet klasifikace i při využití všech komponent netrvá dlouho, bylo rozhodnuto ponechat jako vstupní pásma pro klasifikace všechny komponenty.

První fází klasifikace byl sběr trénovacích ploch v prostředí *ArcGIS*, při kterých bylo využito jak samostatných satelitních snímků v pravých i nepravých barvách (především RGB kompozice 432, při které lze dobře rozlišit listnaté a jehličnaté lesy a také vodní plochy od ostatních povrchů), tak i leteckých snímků. Ty byly použity především tam, kde nebylo možné pouze ze satelitních snímků povrch jednoznačně určit, typicky tak byly nápomocné při rozlišování orné půdy a trvalých travních porostů a při identifikaci sukcesních ploch. Při sběru trénovacích ploch byly brány v úvahu pouze takové, které přesahovaly minimální mapovací jednotku 1 ha. Výhodou softwaru *ArcGIS* je možnost připojení WMS vrstvy s ortofotosnímky od společnosti ČÚZK. Software *Geomatica* též umožňuje omezené možnosti připojení WMS vrstev, ovšem souřadnicový systém S-JTSK nebyl správně zobrazen. Další výhodou *ArcGIS* je vcelku pokročilá práce s trénovacími plochami, které lze slučovat i rozdělovat, lze zobrazit bodový graf s korelacemi jednotlivých pásem a také histogram, na kterém je možné kontrolovat přibližné normální rozdělení hodnot jednotlivých pásem (viz Obrázek 17), tento nástroj byl při tvorbě trénovacích ploch hojně využíván. Oba dva softwary též umožňují vytvořit náhled klasifikace, který nám ukáže, jak by klasifikace vypadala při využití stávajících trénovacích ploch.



Obrázek 17: Histogram trénovacích ploch zástavby, Brdy 1998 (Zdroj: obrazovka sw *ArcGIS*)

Tabulka 6 a Tabulka 7 ukazuje počet spektrálních tříd pro jednotlivé informační třídy, počet trénovacích ploch a počet pixelů na trénovacích plochách pro jednotlivé třídy. Vidíme zde, že kromě orné půdy většinou stačila pro dostatečné definování třídy land cover jedna spektrální třída. Nejmenší počty pixelů v trénovacích plochách měly třídy řídká vegetace a sukcesní porosty, pro které bylo na určitých snímcích obtížné najít vhodné reprezentativní trénovací plochy.

Tabulka 6: Charakteristika trénovacích ploch pro Ralsko (Zdroj: vlastní)

	Počet spektrálních tříd			Počet trénovacích ploch			Počet pixelů trénovacích ploch		
	2011	1998	1986	2011	1998	1986	2011	1998	1986
Zástavba	1	1	1	7	7	8	2033	2001	1937
Orná půda	4	1	3	27	26	24	10067	8131	7761
Trvalé travní p.	1	1	1	8	8	9	1527	1704	1012
Řídká vegetace	1	1	1	5	3	12	894	273	2198
Sukcesní porosty	1	1	1	8	8	9	514	785	502
Jehličnaté lesy	1	1	1	6	6	10	8792	3895	5319
Listnaté lesy	1	1	1	7	7	7	2007	2104	2104
Vodní plochy	1	1	1	4	4	4	3207	3171	2647

Tabulka 7: Charakteristika trénovacích ploch pro Brdy (Zdroj: vlastní)

	Počet spektrálních tříd			Počet trénovacích ploch			Počet pixelů trénovacích ploch		
	2011	1998	1986	2011	1998	1986	2011	1998	1986
Zástavba	1	1	1	12	13	13	3036	3056	2610
Orná půda	5	4	3	35	34	32	13961	10692	9627
Trvalé travní p.	1	1	1	13	11	11	2062	1483	829
Řídká vegetace	1	1	1	7	7	9	596	446	771
Sukcesní porosty	2	1	1	6	8	13	724	587	598
Jehličnaté lesy	1	1	1	7	6	8	2793	1783	2123
Listnaté lesy	2	1	1	8	11	9	728	1144	861
Vodní plochy	1	1	1	5	5	5	1050	1017	1017

Samotná řízená klasifikace algoritmem *Maximum Likelihood* probíhala v prostředí *Focus* softwaru *Geomatica*. Jednotlivým spektrálním třídám je možno určit hodnoty prahu a váhy pro klasifikaci. To je užitečné například v případě, pokud známe procentuální zastoupení jednotlivých land cover tříd na daném území a víme tak, že se určitá třída vyskytuje s vyšší pravděpodobností než jiná. S takovýmto druhem informací však nebylo pracováno, a proto byly všechny hodnoty prahů a vah ponechány beze změny. V souboru pix byla vytvořena čtyři nová pásma, do prvního byly importovány trénovací plochy ze shp vytvořeného v *ArcGIS*, v druhém pásmu byl uložen výsledek klasifikace, třetí pásmo bylo vymezeno pro slučování tříd, na které byla následně aplikována módová filtrace uložená v posledním vytvořeném pásmu. U módové filtrace byly vyzkoušeny možnosti s velikostí okna 3 x 3, 5 x 5 a 7 x 7, rozdíly nebyly velké, ale nejlepších výsledků bylo dosaženo s použitím okna velikosti 3 x 3.

5.4 Určení přesnosti

Přesnost byla hodnocena na základě náhodných bodů, vytvořených funkcí *Create Random Points* v programu *ArcGIS*. Pro rok 2011 bylo na ploše každé klasifikační třídy vytvořeno 70 bodů, kterým byl pak manuálně přiřazován typ pokryvu na základě vizuální interpretace leteckých snímků. V místech, kde nebylo možné určit typ pokryvu (hranice porostů či nemožnost interpretace například u rozlišení trvalých travních porostů a orné půdy), byl bod smazán, případně přesunut do místa, kde šlo pokryv jednoznačně zjistit. Pokud se vlivem této editace snížil počet kontrolních bodů pod 50, byly body do tohoto počtu doplněny ručně.

Pro rok 1998 a 1986 byly kontrolní body získány zkontrolováním a opravou kontrolních bodů sestavených pro rok 2011 (případně 1998). Byly vymazány nejednoznačné body a případně doplněny do počtu 50 pro každou klasifikační třídu. V některých případech však tohoto čísla nebylo dosaženo, neboť nebylo možné určit z referenčních dat takový počet kontrolních bodů. Typicky se jedná o třídu povrchy s řídkou vegetací, případně listnaté lesy. Přesný počet trénovacích bodů uvádí Příloha 15 až Příloha 20. Jelikož referenční letecké snímky nepokrývaly na rozdíl od roku 2011 celá zájmová území, byly body přesunuty do míst pokrytých leteckými snímky.

Vyhodnocení přesnosti bylo provedeno pomocí nástroje *Accuracy assessment* v programu *Geomatica*, do kterého byly importovány shp vytvořených kontrolních bodů. Hodnocena byla klasifikace již po sloučení tříd a po aplikaci módového filtru. Výsledné zprávy o hodnocení přesnosti jsou umístěny v Příloha 15 až Příloha 20. Přesnost byla hodnocena ukazateli kappa koeficient, uživatelská, zpracovatelská a celková přesnost.

5.5 Výpočet změn krajinného pokryvu

Výsledné rastrové vrstvy krajinného pokryvu za zkoumané roky bylo pro analýzu změn pokryvu nutné převést do vektorové podoby. K tomu byla použita funkce *Raster to Polygon* v programu *ArcGIS*, s vybranou možností shlazení hranic polygonů. Následně byly smazány polygony vně zájmového území, které tudíž nenesly žádnou informaci o krajinném pokryvu. Jako nejmenší mapová jednotka byl zvolen 1 ha, proto byly vypočteny rozlohy všech polygonů a ty s rozlohou menší než 1 ha byly funkcí *Eliminate* sloučeny se sousedními polygony na základě nejdelší hranice. Tento proces bylo nutné opakovat ještě jednou, protože po prvním spuštění se ve snímku nacházely polygony menší než 1 ha, které byly původně obklopeny pouze malými polygony.

V dalším kroku byly polygony sloučeny funkcí *Dissolve* podle kódů tříd, takže každé třídě odpovídal jeden polygon. Tento postup umožnil odečtení rozlohy jednotlivých kategorií krajinného pokryvu.

Pro nalezení stabilních ploch a ploch, kde došlo ke změně pokryvu, byla použita funkce *Intersect*, s polohovou tolerancí (*XY Tolerance*) 15 m. Díky tomuto parametru jsou hranice polygonů, které nejsou

vzdáleny více než 15 m brány při překryvu jako totožné. Toto nastavení by tak mělo eliminovat chyby vzniklé polohovou nepřesností a chyby vzniklé nesprávným zařazením pixelů na hranici jednotlivých tříd. Nástroj byl použit pro dvojice snímků 1986 a 1998, 1998 a 2011 a také 1986 a 2011. Takto vzniklá vrstva obsahovala pro každý existující typ změny (případně pro všechny stabilní plochy určité třídy) jeden vícedílný (*Multipart*) polygon. Bylo ovšem ještě nutné odstranit plochy menší než nejmenší mapová jednotka. Funkcí *Multipart to Singlepart* tak byly vícedílné polygony „rozbity“ na jednoduché polygony a ty, které byly menší než 1 ha, byly eliminovány obdobně jako v prvním kroku. Nakonec byla stejným způsobem překryta i rozdílová vrstva mezi roky 1986 a 1998 s rozdílovou vrstvou mezi roky 1998 a 2011. Z takto vzniklé sady pak bylo možné obdržet rozlohu změn mezi roky 1986, 1998 a 2011 na jednotlivých územích.

Použití funkcí *Raster to Polygon* se shlazením hranic polygonů a *Intersect* s polohovou tolerancí 15 m mělo za následek nestejný průběh hranic na okrajích zájmového území na snímcích z různých časových období. Proto byly, kvůli zachování stejné rozlohy, všechny výsledné vrstvy nakonec ještě oříznuty ve vzdálenosti 2950 m od hranic VÚ (tedy o 50 m méně, než byly hranice původních zájmových území).

5.6 Použitý software

5.6.1 ArcGis

Pro zpracování bakalářské práce byl nejvíce používán software *ArcGIS* společnosti ESRI ve verzi *ArcGIS 10.2.2 for Desktop*, konkrétně pak program *ArcMap*. Bylo využito bezplatné školní licence poskytnuté katedrou aplikované geoinformatiky a kartografie PŘF UK. Jedná se o komplexní software pro práci s geografickými daty, obsahující širokou škálu nástrojů. V tomto softwaru probíhala prvotní vizualizace satelitních i leteckých snímků a sběr trénovacích a kontrolních dat pro řízenou klasifikaci za pomoci připojené WMS vrstvy leteckých snímků. Výsledky klasifikace byly opět zpracovány v *ArcGIS*, kde probíhal převod do vektorového formátu, výpočet změn překrytím vrstev i tvorba veškerých map.

5.6.2 Geomatica

Samotná klasifikace leteckých snímků probíhala v softwaru *Geomatica* ve verzi 2012 od společnosti *PCI Geomatics*, konkrétně v modulu *Focus*. Tento software je zaměřen především na práci s rastrovými daty DPZ. V rámci klasifikace nabízí celou řadu klasifikačních algoritmů s možností úpravy jejich parametrů. Dále obsahuje post-klasifikační nástroje, jako je slučování tříd a hodnocení přesnosti. Z tohoto důvodu byla *Geomatica* preferována oproti *ArcGIS*, který v rámci klasifikace nabízí jen základní funkce. V *Geomatica* bylo též provedeno sloučení snímků jednotlivých pásem ve formátu TIFF do souborů PIX, s kterými bylo pak pracováno po celou dobu. Určité problémy nastaly při analýze hlavních komponent 16bitových snímků, kdy verze 2012 tento proces nedokázala dokončit. Pro tuto operaci tak byla využita verze 2014.

5.6.3 Ostatní

Dalším použitým softwarem byly programy z balíku Microsoft Office 365, který přírodovědecká fakulta poskytuje svým studentům zdarma. V programu Excel byly zpracovány tabulky přesností, tabulky a grafy vyjadřující rozlohu tříd krajinného pokryvu, v programu Word byl napsán vlastní text bakalářské práce.

6 VÝSLEDKY

6.1 Hodnocení přesnosti klasifikace

Jak již bylo zmíněno v kapitole rozebírající metodiku, chybovou matici lze sestavit dvěma způsoby. První způsob je velmi jednoduchý a časově nenáročný. Kontrola totiž probíhá na ploše trénovacích ploch, které již byly sesbírány. V důsledku toho pak však toto hodnocení nevypovídá o přesnosti klasifikace celého snímku, ale právě pouze trénovacích ploch, které jsou ze své podstaty dobře rozlišitelné. Tato metoda na druhé straně může být nápomocná při posuzování vhodnosti trénovacích ploch a rozlišitelnosti jednotlivých tříd. Rozdílných výsledků oproti použití kontrolních bodů je dosaženo také kvůli tomu, že při hodnocení přesnosti trénovacích ploch jsou hodnoceny spektrální třídy, oproti tomu při použití kontrolních bodů jsou již tyto třídy sloučeny do menšího počtu informačních tříd. Software *Geomatica* počítá celkovou a průměrnou přesnost trénovacích ploch automaticky po skončení procesu klasifikace, hodnoty těchto přesností jsou uvedeny v Tabulka 8.

*Tabulka 8: Průměrná a celková přesnost klasifikace trénovacích ploch
(Zdroj: vlastní výpočty v sw Geomatica)*

	Průměrná přesnost	Celková přesnost
Brdy 1986	88,71 %	89,04 %
Ralsko 1986	86,79 %	90,06 %
Brdy 1998	91,69 %	93,48 %
Ralsko 1998	91,20 %	94,28 %
Brdy 2011	94,45 %	94,79 %
Ralsko 2011	92,19 %	93,95 %

Tabulka 8 dokládá, že průměrná i celková přesnost se pohybovaly okolo 90 %, přičemž klasifikace byly nejvíce přesné v recentním snímku z roku 2011 a nejméně přesné v nejstarším snímku z roku 1986. Největší přesnosti dosáhla ve všech snímcích klasifikace vodních ploch, která se pohybovala okolo 99,8 %. Tento výsledek není překvapivý, voda má oproti ostatním třídám podstatně jiné spektrální charakteristiky odrazivosti. Naopak nejproblematictější se z hlediska klasifikace trénovacích ploch jeví třída trvalých travních porostů, kde se přesnost pohybovala často pod 80 %, nejčastěji byla zaměňována s ornou půdou, případně se sukcesními porosty. Relativně menších přesností dosahovala i třída sukcesní porosty. Naopak dobré přesnosti přesahující ve většině případů 95 % dosahovaly třídy jehličnatých a listnatých lesů, což svědčí o dobře zvolených trénovacích plochách. Informační třída orná půda byla zpravidla klasifikována pomocí více spektrálních tříd, které byly vyklasifikovány s různou přesností, většinou však nad 80 %, nejčastěji byla zaměňována za trvalé travní porosty, zástavbu a povrchy s řídkou vegetací. Přesnost klasifikace povrchů s řídkou vegetací se pohybovala okolo 80 %

a přesnost klasifikace zástavby nad hranicí 90 %. Přesnosti byly ve všech snímcích podobné a žádný snímek nevykazoval výrazně jiné hodnoty. Lze tak říci, že trénovací plochy byly pro všechny roky a pro obě vybraná území vybrány podobně kvalitně a reprezentativně.

Druhý způsob hodnocení přesnosti klasifikace je založený na náhodných kontrolních bodech. Jejich sběr je popsán v Kapitole 3.7 a jejich počet se pohyboval od 445 do 521 v rámci jednotlivých snímků. Tento způsob hodnocení přesnosti více vypovídá o skutečné přesnosti, neboť body jsou náhodně rozmístěny po celé ploše snímku. V Tabulka 9 je uveden přehled celkových přesností za všechny snímky. Je z ní patrné, že všechny snímky byly vyklasifikovány s relativně podobnou přesností, přičemž v Brdech přesnost stoupá směrem k novějším snímkům, naproti tomu u Ralska se všechny pohybují těsně nad hranicí 80 %.

*Tabulka 9: Celkové přesnosti klasifikace snímků na základě kontrolních bodů
(Zdroj: vlastní výpočty v sw Geomatica)*

	Celková přesnost		Celková přesnost
Brdy 1986	84,58 %	Ralsko 1986	80,45 %
Brdy 1998	89,40 %	Ralsko 1998	83,00 %
Brdy 2011	90,02 %	Ralsko 2011	81,07 %

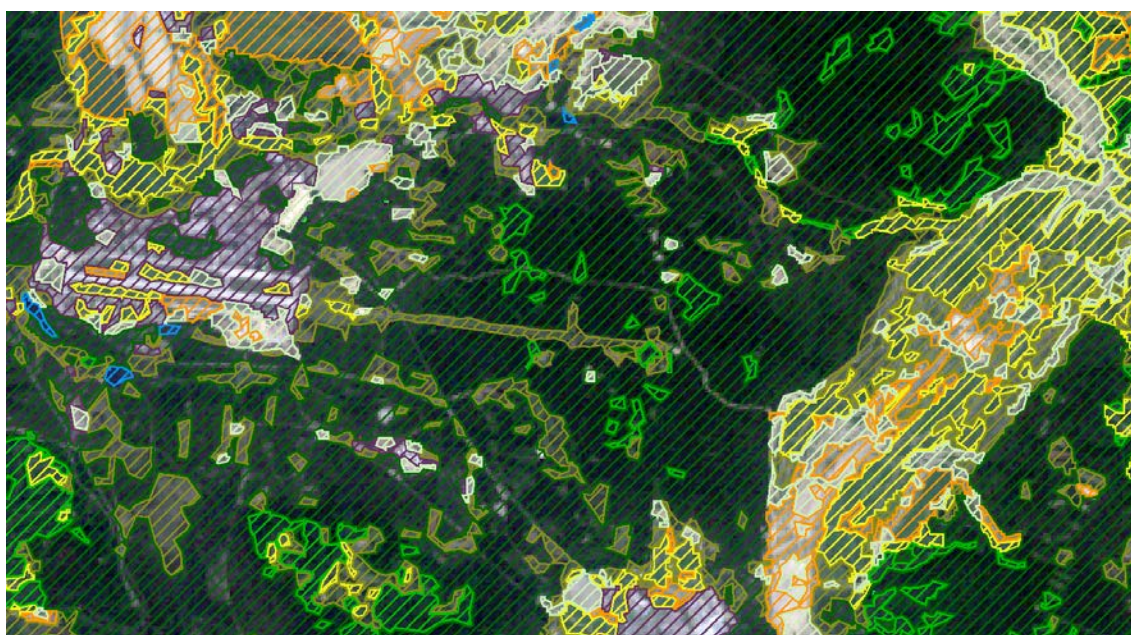
Chybové matice pro všechny klasifikace zobrazující též uživatelské a zpracovatelské přesnosti pro jednotlivé třídy jsou uvedeny jako Příloha 15 až Příloha 20 na konci práce.

Na zájmovém území Brdy byly ve všech časových horizontech vyklasifikovány s největší přesností vodní plochy, kde se vždy obě přesnosti blížily 100 %. Další dobře klasifikovanou třídou byly jehličnaté lesy, listnaté lesy už vykazují menší přesnost, a to zejména zpracovatelskou přesnost v roce 1986, kdy bylo 27,5 % listnatých lesů klasifikováno jako sukcesní porosty. Zástavba byla klasifikována s přesnostmi těsně nad 90 %, výjimku tvoří uživatelská přesnost (73,2 %) v roce 2011, kdy bylo 21 % kontrolních bodů klasifikovaných jako zástavba ve skutečnosti orná půda. Trvalé travní porosty mají nízké přesnosti zejména v roce 1986, kdy jsou zaměňovány za ornou půdu, tento jev je vidět i v ostatních dvou časových obdobích, ovšem s menší intenzitou. Vzhledem k tomu, že jsou všechny snímky pořízeny ve vegetačním období, mají orné plochy, které nejsou čerstvě zorány, podobné spektrální charakteristiky jako travní porosty, kvůli vzrostlé plodině. Různé přesnosti dosahuje klasifikace orné půdy, zpracovatelská přesnost je nejmenší (76,4 %) v roce 2011 a nejvyšší (98,6 %) v roce 1998. Spíše nižších přesností dosahují i třídy sukcesní porosty a povrchy s řídkou vegetací, které se pohybují v průměru okolo 75 %, znatelně nejhorší je zpracovatelská přesnost řídké vegetace v roce 1998, která dosáhla pouze 40,6 %, stejný podíl byl chybně vyklasifikován jako sukcesní porosty.

Na zájmovém území Ralsko lze rovněž pozorovat největší přesnosti u klasifikace vodních ploch, kde bylo dokonce ve všech horizontech dosaženo 100% přesnosti. S velkou přesností byly též klasifikovány jehličnaté lesy (vždy nad 94 %) a velké uživatelské přesnosti dosáhly i listnaté lesy.

Z hlediska zpracovatelské přesnosti byly nejčastěji zaměňovány se sukcesními porosty. Zástavba byla nejlépe vyklasifikována na nejstarším snímku a nejhůře na nejnovějším, kdy byla uživatelská přesnost pouze 66, 7 % (19,2 % kontrolních bodů určených jako zástavba byla ve skutečnosti orná půda). Orná půda dosáhla poměrně dobré zpracovatelské přesnosti, ale uživatelská se pohybovala pouze těsně nad 60 % ve všech zkoumaných obdobích a byla nejčastěji zaměňována s trvalými travními porosty, případně s řídkou vegetací. Trvalé travní porosty a sukcesní porosty dosahovaly různé úrovně přesnosti, přičemž novější snímky jsou klasifikovány přesněji. Na nízké úrovni je zpracovatelská přesnost ve všech zkoumaných letech u třídy řídká vegetace (ve dvou případech je nižší než 50 %), přičemž uživatelská přesnost je vyšší, v roce 1998 dokonce 100 %.

Přesnost klasifikace byla též hodnocena vizuálně překryvem klasifikované vrstvy a původních satelitních snímků a ortofot. Na Obrázek 18 je vidět překryv satelitního snímku a výsledné klasifikace na výřezu z ZÚ Ralsko z roku 1986. Vidíme zde, že dobře byla vyklasifikována třída jehličnatých lesů, i když se v ní občas objevují ostrovy listnatého lesa, které tam pravděpodobně ve skutečnosti nejsou. Malé plochy sukcesních porostů uvnitř lesa odráží zarůstající holiny po těžbě. Na tankové střelnici ve východní části výřezu je patrná chybně vyklasifikovaná orná půda, která je zaměněna za povrch s řídkou vegetací. Vcelku přesně je identifikována zástavba.



Obrázek 18: Náhled překryvu satelitního snímku a klasifikace, Ralsko 1986 (Zdroj: USGS, vlastní tvorba)
Pozn.: Barvy tříd odpovídají mapám krajinného pokryvu.

Stejně překryvy byly vytvořeny a zkontrolovány pro všechny klasifikované snímky a celkově lze konstatovat podobné skutečnosti, jaké odhalilo hodnocení přesnosti pomocí kontrolních bodů. Zejména je to takřka bezchybná klasifikace vodní ploch a kvalitní klasifikace obou tříd lesů, přičemž třída sukcesních porostů mnohdy zahrnuje již vrostlý les. Častá pak byla záměna orné půdy s trvalými travními porosty, ale také se zástavbou, a to zejména v Brdech v letech 1986 a 2011. Orná půda byla

těž často zaměňována s povrchy s řídkou vegetací. Celkově však lze vizuální kontrolou snímky hodnotit jako relativně dobře klasifikované.

6.2 Změny krajinného pokryvu

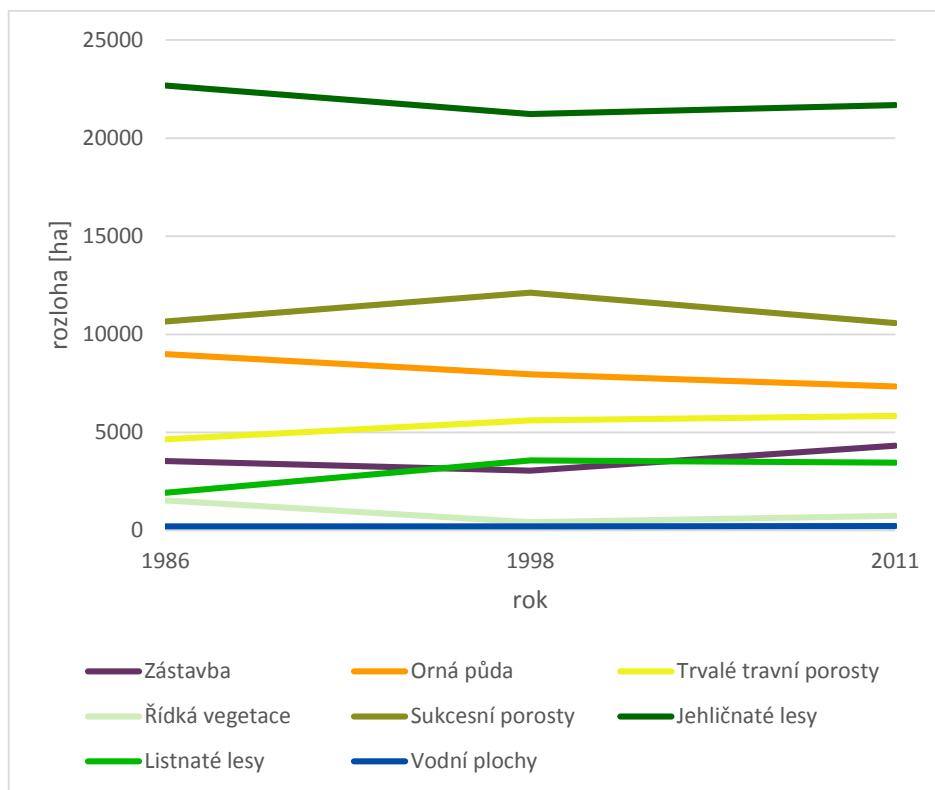
Pro všechny časové horizonty a pro obě území byla spočtena celková rozloha tříd krajinného pokryvu a její procentuální zastoupení na celkové rozloze území. Tyto rozlohy jsou vizualizovány v mapách (viz Příloha 3 až Příloha 5, Příloha 9 až Příloha 11).

Tabulka 10 vyjadřuje jednotlivé rozlohy tříd krajinného pokryvu v Brdech, je z ní patrné, že prakticky beze změny rozlohy mezi sledovanými roky zůstala kategorie vodních ploch. Vzhledem k tomu, že tato kategorie byla vyklasifikována s vysokou přesností, můžeme s vysokou pravděpodobností říci, že její rozloha se ani ve skutečnosti neměnila. Největší zastoupení mají ve všech letech jehličnaté lesy, přičemž jejich rozloha se také výrazněji neměnila. Oproti tomu listnaté lesy mezi roky 1986 a 1998 takřka zdvojnásobily svoji rozlohu. Vzhledem k malému plošnému zastoupení této třídy je však tato změna malá a nelze s určitostí říci, zda odráží opravdové změny. Rozlohy ostatních tříd se výrazněji neměnily, můžeme konstatovat, že se jedná o relativně stabilní území.

Tabulka 10: Rozlohy tříd krajinného pokryvu na zájmovém území Brdy (Zdroj: vlastní výpočty)

	rozloha [ha]			podíl rozlohy		
	1986	1998	2011	1986	1998	2011
Zástavba	3542,67	3055,62	4327,05	6,54%	5,64%	7,99%
Orná půda	8983,66	7958,34	7341,23	16,58%	14,69%	13,55%
Trvalé travní porosty	4648,29	5611,27	5835,36	8,58%	10,36%	10,77%
Řídká vegetace	1531,45	419,73	742,03	2,83%	0,77%	1,37%
Sukcesní porosty	10654,57	12129,63	10568,32	19,67%	22,39%	19,51%
Jehličnaté lesy	22683,16	21225,00	21686,26	41,87%	39,18%	40,03%
Listnaté lesy	1918,17	3569,82	3452,66	3,54%	6,59%	6,37%
Vodní plochy	214,36	206,93	223,41	0,40%	0,38%	0,41%
celkem	54176,33			100%		

Na Obrázek 19 jsou pro názorné porovnání rozlohy za území Brdy vyneseny do grafu. Vidíme zde, že kromě zástavby a listnatých lesů v roce 1998 drží všechny kategorie své pořadí podle rozlohy. Je zde patrné snížení rozlohy jehličnatých lesů a současné zvýšení rozlohy sukcesních porostů mezi lety 1986 a 1998, což může indikovat zvětšení intenzity těžby dřeva (mladé porosty vznikající po vykácení původního lesa spadají do třídy sukcesní porosty). Je zde též vidět postupný mírný pokles rozlohy orné půdy.

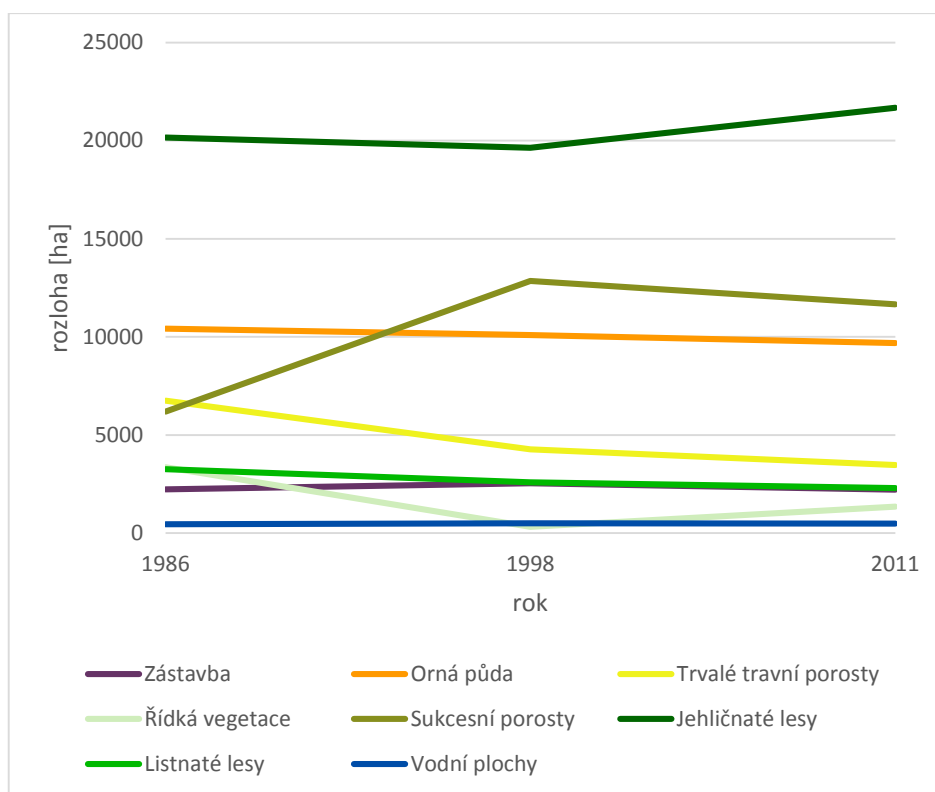


Obrázek 19: Graf vývoje krajinného pokryvu na zájmovém území Brdy (Zdroj: vlastní tvorba)

Tabulka 11 vyjadřuje rozlohy jednotlivých tříd krajinného pokryvu na zájmovém území Ralsko. Opět jsou zde nejstabilnější třídou vodní plochy, i když zde se rozloha mírně mění zejména kvůli odkališti u Stráže pod Ralskem, kde hladina výrazně kolísá. Oproti ZÚ Brdy jsou zde rozdíly podstatně větší. Je zde vidět trend po opuštění území armádou, kdy velká část ploch s řídkou vegetací (střelnice, tankodromy) zarůstá a stávají se z nich sukcesní porosty. V druhé polovině sledovaného časového období se některé sukcesní plochy mění na jehličnaté lesy, což dále potrhává návrat území do více přírodní podoby. Orná půda, zástavba a listnaté lesy mění svou rozlohu jen velmi málo. Patrný je zde úbytek trvalých travních porostů. Obrázek 20 opět vyjadřuje tyto rozlohy v přehledném grafu, kde je zejména vidět strmý nárůst rozlohy sukcesních porostů.

Tabulka 11: Rozlohy tříd krajinného pokryvu na zájmovém území Ralsko (Zdroj: vlastní výpočty)

	rozloha [ha]			podíl rozlohy		
	1986	1998	2011	1986	1998	2011
Zástavba	2222,66	2542,78	2202,49	4,21%	4,82%	4,17%
Orná půda	10419,47	10093,79	9679,47	19,73%	19,12%	18,33%
Trvalé travní porosty	6742,98	4271,16	3465,51	12,77%	8,09%	6,56%
Řídká vegetace	3355,82	318,60	1344,67	6,36%	0,60%	2,55%
Sukcesní porosty	6191,88	12849,54	11659,46	11,73%	24,34%	22,08%
Jehličnaté lesy	20155,06	19632,95	21683,09	38,17%	37,18%	41,07%
Listnaté lesy	3258,05	2589,99	2289,92	6,17%	4,91%	4,34%
Vodní plochy	452,73	499,82	474,03	0,86%	0,95%	0,90%
celkem	52798,64			100%		



Obrázek 20: Graf vývoje krajinného pokryvu na zájmovém území Ralsko (Zdroj: vlastní tvorba)

Protože se tato práce zabývá předně samotným územím VÚ, byly tabulky rozloh tříd sestaveny i pro území pouze uvnitř VÚ (bez buffer zóny). Tyto tabulky jsou uvedeny jako Tabulka 12 a Tabulka 13. Razantně zde oproti celým zájmovým územím poklesla rozloha zástavby a orné půdy, případně i trvalých travních porostů a vodních ploch v případě Ralska, celkové trendy vývoje krajiny ale zůstaly podobné.

Tabulka 12: Rozlohy tříd krajinného pokryvu ve VÚ Brdy (Zdroj: vlastní výpočty)

	rozloha [ha]			podíl rozlohy		
	1986	1998	2011	1986	1998	2011
Zástavba	180,38	233,84	199,27	0,69%	0,90%	0,77%
Orná půda	37,61	88,54	84,84	0,14%	0,34%	0,33%
Trvalé travní porosty	652,53	553,36	477,95	2,51%	2,13%	1,84%
Řídká vegetace	764,37	156,68	601,39	2,94%	0,60%	2,31%
Sukcesní porosty	6647,73	6818,47	6814,82	25,57%	26,23%	26,21%
Jehličnaté lesy	16339,80	15933,06	15950,96	62,85%	61,29%	61,36%
Listnaté lesy	1229,50	2075,52	1715,34	4,73%	7,98%	6,60%
Vodní plochy	144,73	137,19	152,08	0,56%	0,53%	0,58%
celkem	25996,65			100%		

Tabulka 13: Rozlohy tříd krajinného pokryvu v bývalém VÚ Ralsko (Zdroj: vlastní výpočty)

	rozloha [ha]			podíl rozlohy		
	1986	1998	2011	1986	1998	2011
Zástavba	738,40	707,42	687,50	2,95%	2,83%	2,75%
Orná půda	1378,19	1427,16	1019,65	5,50%	5,70%	4,07%
Trvalé travní porosty	1985,52	1732,73	1078,31	7,93%	6,92%	4,31%
Řídká vegetace	1817,34	231,25	518,10	7,26%	0,92%	2,07%
Sukcesní porosty	3488,86	6398,37	5760,72	13,93%	25,55%	23,01%
Jehličnaté lesy	13255,08	12528,84	14185,89	52,93%	50,03%	56,65%
Listnaté lesy	2359,07	1997,21	1767,36	9,42%	7,98%	7,06%
Vodní plochy	18,45	17,93	23,38	0,07%	0,07%	0,09%
celkem	25040,91			100%		

7 DISKUSE

Pro klasifikaci snímků krajinného pokryvu vojenských újezdů byla na základě největší přesnosti použita řízená klasifikace klasifikátorem *Maximum Likelihood*. Jako vhodnou ji pro daný účel ve své studii označili například Mas (1999) a Červená (2010). Z hlediska přesnosti klasifikace bylo dosaženo relativně dobrých výsledků. I když přesnost klasifikace může být mírně zvýšena zvolenou metodou sběru kontrolních bodů, kdy byly body, z nichž nebylo možné na základě referenčních dat zjistit krajinný pokryv, smazány. Lze předpokládat, že pokud byl na takových místech problém určit body vizuální interpretací, i automatická klasifikace zde mohla vykazovat menší přesnost. Tuto nedokonalost by však bylo možné eliminovat pouze sběrem kontrolních dat v terénu, což by bylo vzhledem k povaze úlohy neúměrně náročné. Celkový počet kontrolních bodů se pohyboval od 445 do 521 při jednotlivých klasifikacích. Mas (1999) při svém výzkumu použil pro kontrolu klasifikace 106 bodů, Shalaby a Tateishi použili 200 kontrolních bodů.

Celková přesnost klasifikace se pohybovala mezi 80 % a 90 %. Schneider, Grosse a Wagner (2009) dosahují ve své studii 77,8% celkové přesnosti a tuto úroveň považují za dobrou. Nejlepších uživatelských a zpracovatelských přesností dosahovaly třída vodních ploch a třídy lesních porostů. Naopak s menší přesností byly vyklasifikovány třídy orná půda, řídká vegetace, sukcesní porosty a zástavba. Podobné výsledky konstatuje také práce Sextona et al. (2013). Nižších přesností tak dosahují právě kategorie, které se vyskytují na nestabilních plochách uvnitř VÚ (sukcesní porosty a povrchy s řídkou vegetací), což je způsobeno především jejich spektrální podobností s ostatními kategoriemi. Pokud bychom se však těchto nepřesností chtěli vyvarovat, museli bychom některé třídy v klasifikačním systému sloučit. Důsledkem toho by pak některé změny nebyly zachyceny. Klasifikační systém se tak z tohoto pohledu jeví jako vhodně navržený.

I přes snahu získat snímky ze stejné fáze vegetačního vývoje, jsou mezi snímky až tříměsíční rozdíly. V roce 1986 je jeden snímek z 5. 5. a druhý z 15. 6., v roce 1998 je snímek z 10. 8. a v roce 2011 z 26. 5. V prostředním časovém horizontu je tak klasifikována vegetace v jiném fenologickém období, což může mít za následek nepřesnosti při klasifikaci a následném výpočtu změn. Zejména se jedná o ornou půdu a listnaté lesy, kde jsou rozdíly během vegetačního období největší.

Mapy změn krajinného pokryvu a mapa stabilního krajinného pokryvu v Brdech (Příloha 6 až Příloha 8) ukazují relativně velké hospodářské využití zejména jehličnatého lesa, kdy se kvůli kácení mění plochy jehličnatého lesa na plochy s řídkou vegetací a posléze na sukcesní porosty. V západní části újezdu jsou dokonce patrné severojižní pásy, ve kterých těžba postupuje. Listnaté lesy jsou oproti tomu znatelně méně využívány. Časté změny vně újezdu jsou u ploch orné půdy, zde to ale může být způsobeno záměnou orné půdy a třídy trvalých travních porostů při klasifikaci. Jako území s rozsáhlými změnami lze v severní části vprostřed újezdu identifikovat cílovou plochu Brda, na západním okraji výcvikový areál Bahna a na severním okraji nezalesněnou oblast bývalé obce Hrachoviště. Patrné jsou i cílové plochy Jordán a Tok v centrální části újezdu a cílové plochy Kolvín a Padrť severně od Padrťských

rybníků. Jako nejstabilnější území se kromě vodních ploch a zástavby jeví lesy při západní hranici újezdu.

Pokud se podíváme na mapy změn pokryvu a mapu stabilního pokryvu na zájmovém území Ralsko (Příloha 12 až Příloha 14), vidíme, že lesní porosty jsou znatelně stabilnější než ve VÚ Brdy, zejména pak listnaté lesy v oblasti Hradčanských bučin a svazích kopce Ralska. Avšak i většina ploch jehličnatého lesa pokrývající velkou část bývalého újezdu se zde nacházela po všechna tři zkoumaná období. Jako plochy, na kterých probíhaly velké změny, lze identifikovat okolí hradčanského letiště, kde byla rušena a bourána velká vojenská zařízení a ubytovny. V centrální části VÚ severně od obce Ralsko jsou patrné velké změny na území bývalé židlovské tankové střelnice, stejně tak jižně od Ralska na tankodromu Kuřívody a střelnici na Vrchbělě. Relativně velký počet změn lze pozorovat i v okolí Stráže pod Ralskem, kde probíhala těžba uranu. Lze pozorovat přírůstek sukcesních ploch, související s nižší intenzitou užívání území, což potvrzuje hypotézu stanovenou v úvodu.

Ve srovnání s podobnými studiemi, které byly rozebrány v rešeršní části práce, bylo vesměs dosaženo podobných výsledků, co se týče celkové přesnosti klasifikace i dílčích zpracovatelských a uživatelských přesností. Ve studiích je dosaženo nejlepší klasifikace třídy vodních ploch a lesních porostů, naopak problematická je klasifikace tříd, které jsou spektrálně podobné (například orná půda a trvalé travní porosty, či holá orná půda, povrchy s řídkou vegetací a zástavba). Krajinné změny se většinou podařilo úspěšně detekovat, zvolená metodika se tak jeví jako vhodná. Některé třídy krajinného pokryvu mají však na zvolených územích velmi lokální charakter (především třídy sukcesní porosty a povrchy s řídkou vegetací), proto by bylo vhodné použít snímky s větším prostorovým rozlišením.

8 ZÁVĚR

Bakalářská práce zkoumala změny krajinného pokryvu ve dvou vybraných vojenských újezdech Ralsko a Brdy. Cílem práce bylo v prvním kroku nalézt vhodné snímky zachycující krajinný pokryv na zvolených územích a na jejich základě provést klasifikaci ve třech časových horizontech, následně pak zanalyzovat dlouhodobé změny krajiny a výsledky kriticky diskutovat.

Pro klasifikaci krajinného pokryvu byly zvoleny satelitní snímky Landsat 5 ze skeneru TM v časových horizontech 1986, 1998 a 2011 s prostorovým rozlišením 30 m. Nejlepším klasifikačním algoritmem byl zvolen *Maximum Likelihood* klasifikátor v programu *Geomatica*. Klasifikační systém čítal osm tříd a byl přizpůsoben specifikům vojenských újezdů. Klasifikované snímky byly převedeny do vektorové podoby a dále zpracovány v programu *ArcGIS*, kde byly vytvořeny mapy stavu krajinného pokryvu a mapy změn pokryvu. Jako referenční data pro sběr kontrolních bodů byly použity barevné a černobílé letecké snímky poskytnuté ČÚZK a VGHMÚŘ s prostorovým rozlišením 25 – 50 cm.

Stanovené cíle se podařilo splnit, přesnost klasifikace dosáhla dobrých výsledků (celková přesnost se pohybovala mezi 80 a 90 %), i přesto jsou však některé zjištěné změny diskutabilní a zasloužily by si detailnější průzkum (validaci). Tomu napomáhá i zvolená malá nejmenší mapová jednotka 1 ha. Pokud by však byla zvolena větší, hrozilo by, že budou eliminovány i reálné změny, neboť změny ve vojenských újezdech probíhají často na malých plochách (např. těžba dřeva či zarůstání části dopadové plochy).

Do budoucna by bylo vhodné pokračovat ve zkoumání této tematiky, více účelné by mohly být konkrétněji zaměřené studie zkoumající jen vybrané konkrétní změny, případně na menším specifickém území a se snímky s větším prostorovým rozlišením. Kvůli nedostupnosti referenčních dat z dřívějších let by bylo přínosné použít spektrální příznaky získané z trénovacích dat jednoho snímku pro klasifikaci více snímků. Jak uvádí Jensen (2005), v tomto případě už by ale byly nutné přesné atmosférické korekce. Pokud by však byl nastíněný způsob úspěšný, mohlo by ho být využito při klasifikaci i ostatních špatně dostupných území, pro která chybí jiná referenční data. Zvýšení přesnosti určení změn by napomohla klasifikace přímo změnových rastrů, kde by trénovacími plochami byly přímo jednotlivé druhy změn. Zajímavé výsledky by určitě přineslo také použití jiných klasifikačních metod, například *objektové* a *fuzzy klasifikace*, případně použití metody *Temporal trajectory*, pro kterou by ovšem bylo potřeba mnoho snímků území.

SEZNAM ZDROJŮ

- ARCDATA (2015): Landsat, [cit 6. 5. 2015]. Dostupné z <<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/druzicova-data/druzice-a-skenery/landsat/>>.
- CONGALTON, R. (1991): A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, 37, č. 1, s. 35–46.
- Copernicus Programme (2015): Corine Land Cover, poslední revize 3. 4. 2015 [cit. 17. 4. 2015]. Dostupné z <<http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>>.
- ČERVENÁ, L. (2010): Hodnocení dlouhodobých změn land cover okresu Náchod pomocí dat DPZ. Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PřF UK, Praha, 66 s.
- ČÚZK (2015): ČÚZK: Geoportál. [cit 25. 2. 2015]. Dostupné z <[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(1f45cyx3nfw15d5bhopy22\)\)/Default.aspx?mode=eShop](http://geoportal.cuzk.cz/(S(1f45cyx3nfw15d5bhopy22))/Default.aspx?mode=eShop)>.
- DAŘÍLKOVÁ, J. (1998): Příspěvek územního plánování a regionální politiky pro revitalizaci a nové využití území Ralska. *Geografie – Sborník ČGS*, 103, č. 3, s. 200–215.
- DOBROVOLNÝ, P. (1998): Dálkový průzkum Země, Digitální zpracování obrazu. Masarykova univerzita v Brně, Brno, 210 s.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (1995): CORINE land cover, poslední revize 1. 1. 1995 [cit 11. 2. 2015]. Dostupné z <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover/at_download/file>.
- HÁJEK, F. (2013): Změny krajiny v zázemí vybraných vojenských újezdů v Čechách od poloviny 19. století. Diplomová práce. Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje PřF UK, Praha, 119 s.
- HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. (2008): Dálkový průzkum Země. České vysoké učení technické, Praha, 182 s.
- HORSKÁ, E. (2012): Vliv vojenského újezdu Brdy na život obyvatel okolních obcí. Bakalářská práce. Katedra etnologie Filozofické fakulty Masarykovy univerzity, Brno, 65 s.
- iMyslivost (2012): Obora Židlov, poslední revize 14. 8. 2012 [cit. 25. 2. 2015]. Dostupné z <<http://www.imyslivost.cz/clanek.php?id=32>>.
- JENSEN, J. (2005): *Introductory Digital Image Processing: A remote Sensing Perspective*. 3rd ed. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 526 s.
- KOLÁŘ, J. (1990): Dálkový průzkum Země. SNTL, Praha, 176 s.
- KOLÁŘ, J. (2008): Digitální zpracování obrazových dat. Studie, Czech space office, Praha, 60 s.
- KOLÁŘ, J., HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. (2000): Dálkový průzkum Země 10. Vydavatelství ČVUT, Praha, 164 s.

- MAS, J. (1999): Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 20, č. 1, s. 139–152.
- MATHER, P., KOCH, M. (2011): *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: an introduction*. 4th ed. Wiley-Blackwell, Hoboken. 434 s.
- OTUKEI, J., BLASCHKE, T. (2010): Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, č. 1, s. 27–31.
- PCI GEOMATICS (2011): *Geomatica Help: Maximum Likelihood Report*. Nápověda dostupná v programu Geomatica.
- PEŇÁZ, T. (2013): Digitální zpracování dat v DPZ, Prezentace pro předmět Digitální zpracování dat v DPZ na VŠB [cit 25. 2. 2015]. Dostupné z <http://gisak.vsb.cz/~pen63/DZ_dat_DPZ/DIP_Predzpracovani_Atmosfericke_Topograficke_korekce.pdf>.
- PLÁNKA, L. (2007): *Dálkový průzkum Země: Modul 03 – Zpracování dat*. Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Brno, 58 s.
- POŠTOLKA, V. (1998): Revitalizace a nové využití bývalého vojenského prostoru Ralsko. *Geografie – Sborník ČGS*, 103, č. 3, s. 156–170.
- SEIDL, T., CHROMÝ, P. (2010): Problémy integrace marginálního území do regionálního systému: Příklad vojenského újezdu Boletice. *Geografie*. 115, č. 1, s. 44–63.
- SEXTON, J. ... [et al.] (2013): Long-term land cover dynamics by multi-temporal classification across the Landsat-5 record. *Remote Sensing of Environment*, 128, č. 1, s. 246 – 258.
- SHALABY, A., TATISHI, R. (2007): Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*, 28, č. 1, s. 28–41.
- SHNEIDER, J., GROSSE, G., WAGNER, D. (2009): Land cover classification of tundra environments in the Arctic Lena Delta based on Landsat 7 ETM+ data and its application for upscaling of methane emissions. *Remote Sensing of Environment*, 113, č. 2, s. 380 – 391.
- SCHOWENGERDT, R. (2007): *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. 3rd ed. Academic Press, Burlington, 515 s.
- SONG, C. ... [et al.] (2001): Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects?. *Remote Sensing of Environment*, 75, č. 2, s. 230–244.
- USGS (2014a): *Landsat Processing Details*, poslední revize 8. 12. 2014 [cit 11. 3. 2015]. Dostupné z <http://landsat.usgs.gov/Landsat_Processing_Details.php>.

USGS (2014b): Landsat Surface Reflectance High Level Data Products, poslední revize 23. 12. 2014 [cit 25. 2. 2015]. Dostupné z <http://landsat.usgs.gov/CDR_LSR.php>.

USGS (2015): PRODUCT GUIDE: Landsat 4-7 Climate Data Record (CDR) Surface Reflectance, poslední revize 16. 1. 2015 [cit 25. 2. 2015]. Dostupné z <http://landsat.usgs.gov/documents/cdr_sr_product_guide.pdf>.

ZÁKON č. 15/2015 Sb. ze dne 14. ledna 2015 o zrušení vojenského újezdu Brdy, o stanovení hranic vojenských újezdů, o změně hranic krajů a o změně souvisejících zákonů In Sbírka zákonů České republiky. 2015, částka 11, s. 362–370 [cit 25. 2. 2015]. Dostupné z <<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=6791>>.

ZÁKON č. 176/2014 Sb. ze dne 9. dubna 2014 In Sbírka zákonů České republiky. 2014, částka 74, s. 1891–1899 [cit 25. 2. 2015]. Dostupné z <<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=6687>>.

ZEMEK, F. ... [et al.] (2014): Letecký dálkový průzkum Země: Teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů. Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Brno, 156 s.

Datové zdroje:

ArcČR 500: Digitální geografická databáze, verze 3. 1. 2013. Praha: ARCDATA Praha s.r.o.

Archivní ortofoto České republiky černobílé z roku 1986 až 1989. Dobruška: VGHMÚř.

Archivní ortofoto České republiky černobílé z roku 1998 až 2001. Praha: ČÚZK.

LT51910251986166AAA08. Reston: USGS [cit 11. 6. 2014]. Dostupné z <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>

LT51920251986125XXX06. Reston: USGS [cit 9. 6. 2014]. Dostupné z <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>

LT51920251998222KIS00. Reston: USGS [cit 5. 6. 2014]. Dostupné z <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>

LT51920252011146KIS00. Reston: USGS [cit 30. 5. 2014]. Dostupné z <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>

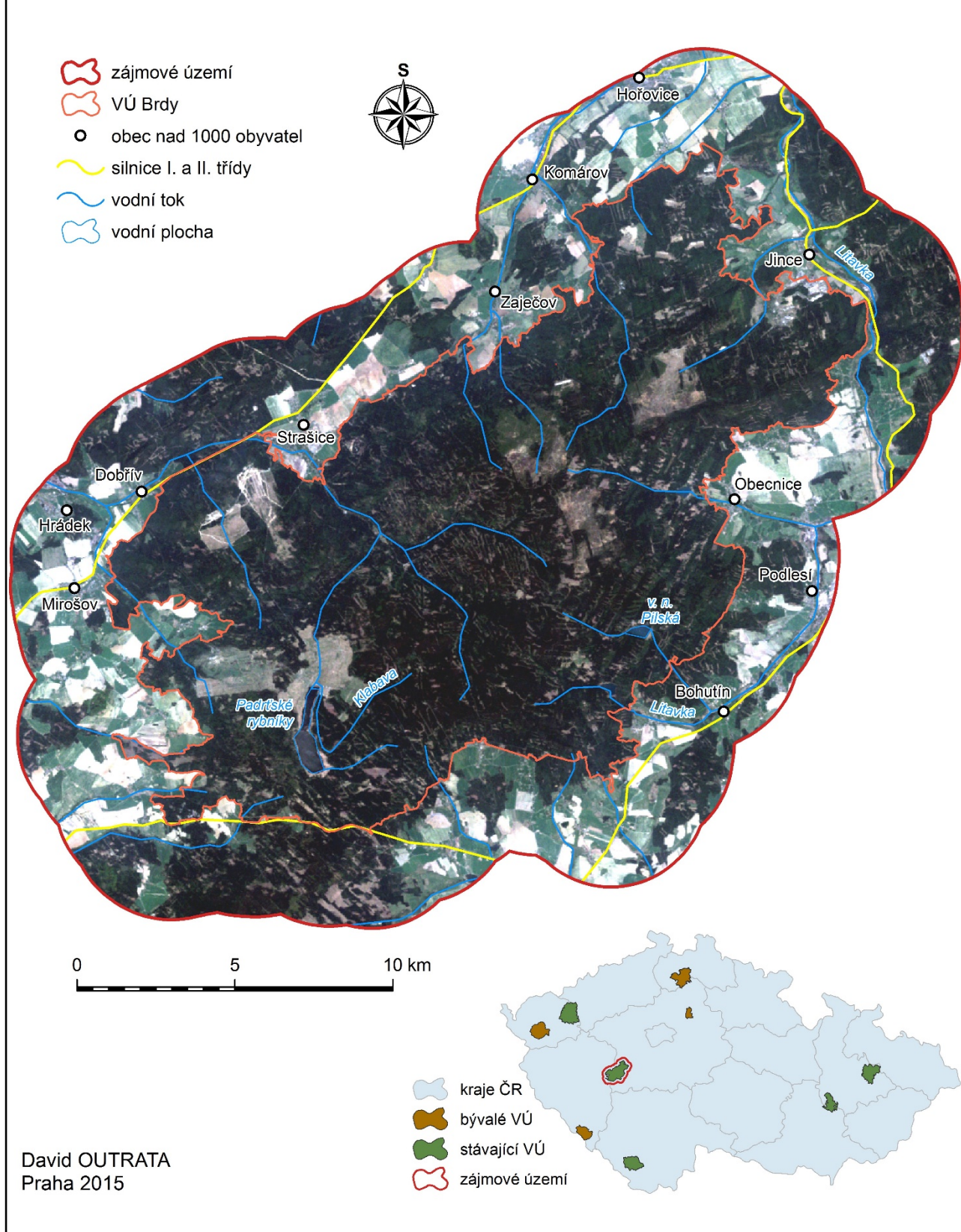
Prohlížečí služba WMS – Ortofoto. Praha: ČÚZK. Dostupné z <http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx>.

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Přehledová mapa zájmového území Brdy
- Příloha 2: Přehledová mapa zájmového území Ralsko
- Příloha 3: Mapa krajinného pokryvu Brdy 1986
- Příloha 4: Mapa krajinného pokryvu Brdy 1998
- Příloha 5: Mapa krajinného pokryvu Brdy 2011
- Příloha 6: Mapa změn krajinného pokryvu Brdy mezi lety 1986,1998 a 2011
- Příloha 7: Mapa změn krajinného pokryvu Brdy mezi lety 1986 a 2011
- Příloha 8: Mapa stabilního krajinného pokryvu Brdy
- Příloha 9: Mapa krajinného pokryvu Ralsko 1986
- Příloha 10: Mapa krajinného pokryvu Ralsko 1998
- Příloha 11: Mapa krajinného pokryvu Ralsko 2011
- Příloha 12: Mapa změn krajinného pokryvu Ralsko mezi lety 1986,1998 a 2011
- Příloha 13: Mapa změn krajinného pokryvu Ralsko mezi lety 1986 a 2011
- Příloha 14: Mapa stabilního krajinného pokryvu Ralsko
- Příloha 15: Chybová matice hodnocení přesnosti klasifikace Brdy 1986
- Příloha 16: Chybová matice hodnocení přesnosti klasifikace Brdy 1998
- Příloha 17: Chybová matice hodnocení přesnosti klasifikace Brdy 2011
- Příloha 18: Chybová matice hodnocení přesnosti klasifikace Ralsko 1986
- Příloha 19: Chybová matice hodnocení přesnosti klasifikace Ralsko 1998
- Příloha 20: Chybová matice hodnocení přesnosti klasifikace Ralsko 2011
- Příloha 21: CD s textem práce a datovými výstupy

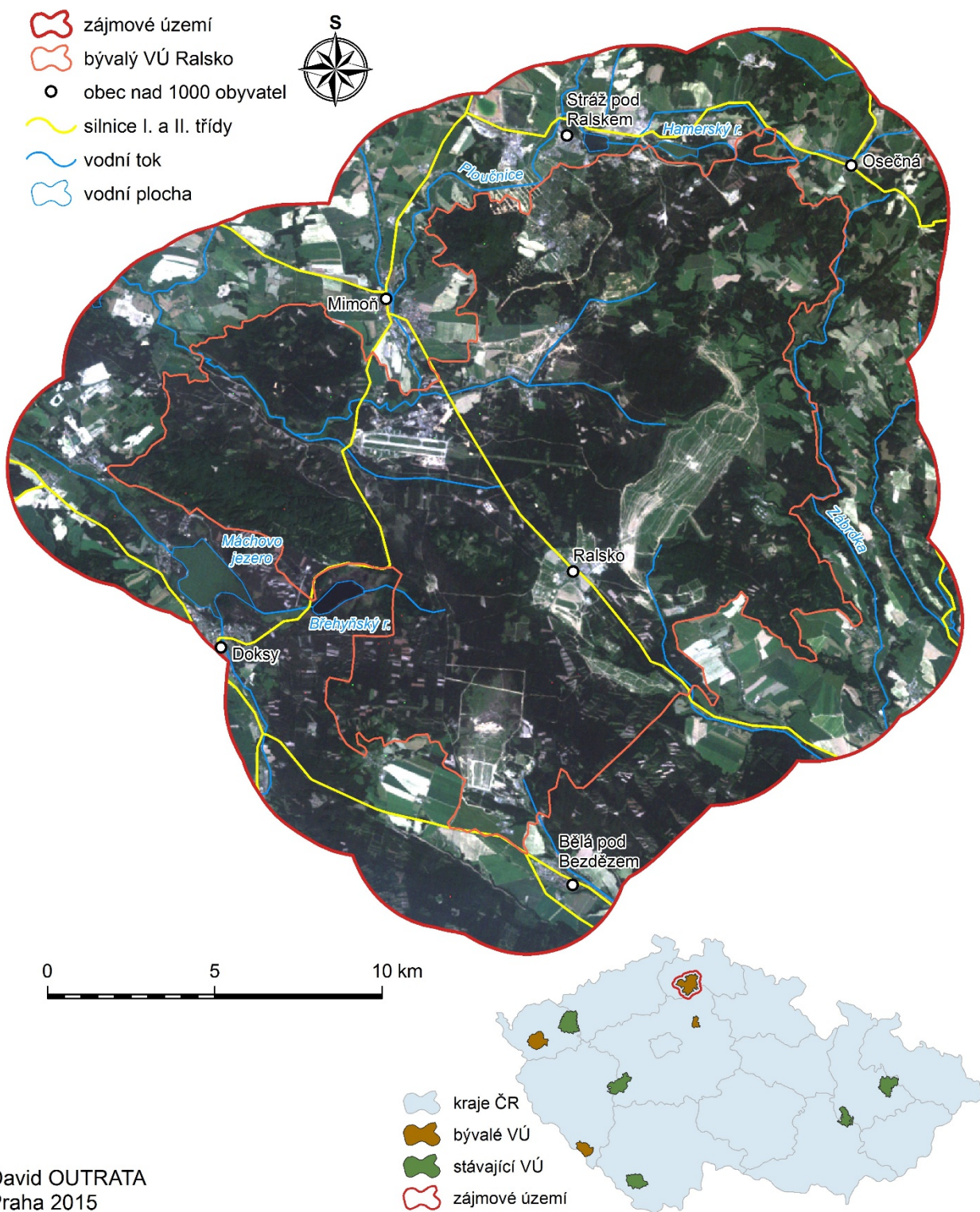
ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ BRDY

snímek Landsat 5 z roku 1986



ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ RALSKO

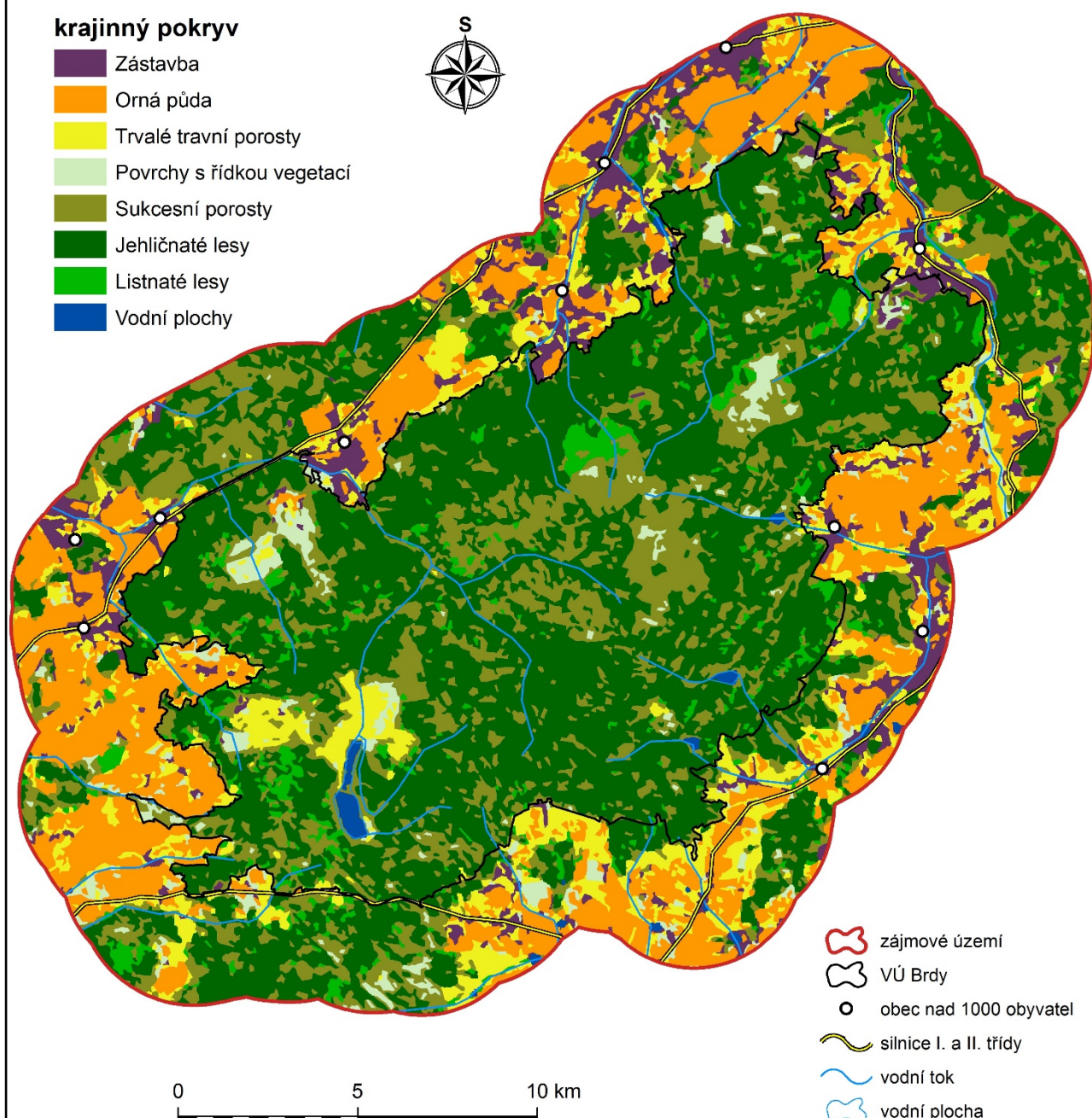
snímek Landsat 5 z roku 1986



David OUTRATA
Praha 2015

KRAJINNÝ POKRYV V ROCE 1986

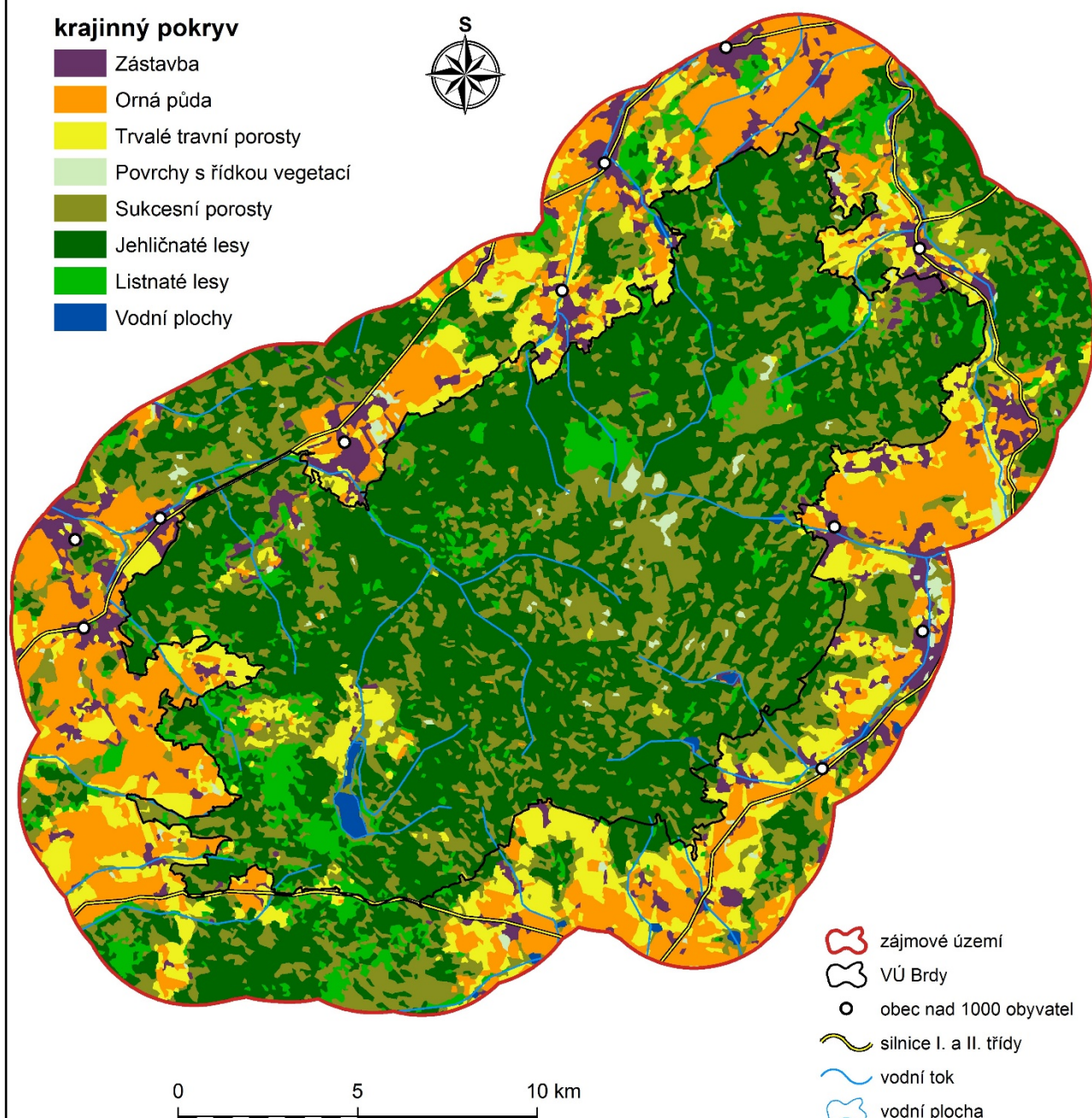
na zájmovém území Brdy



David OUTRATA
Praha 2015

KRAJINNÝ POKRYV V ROCE 1998

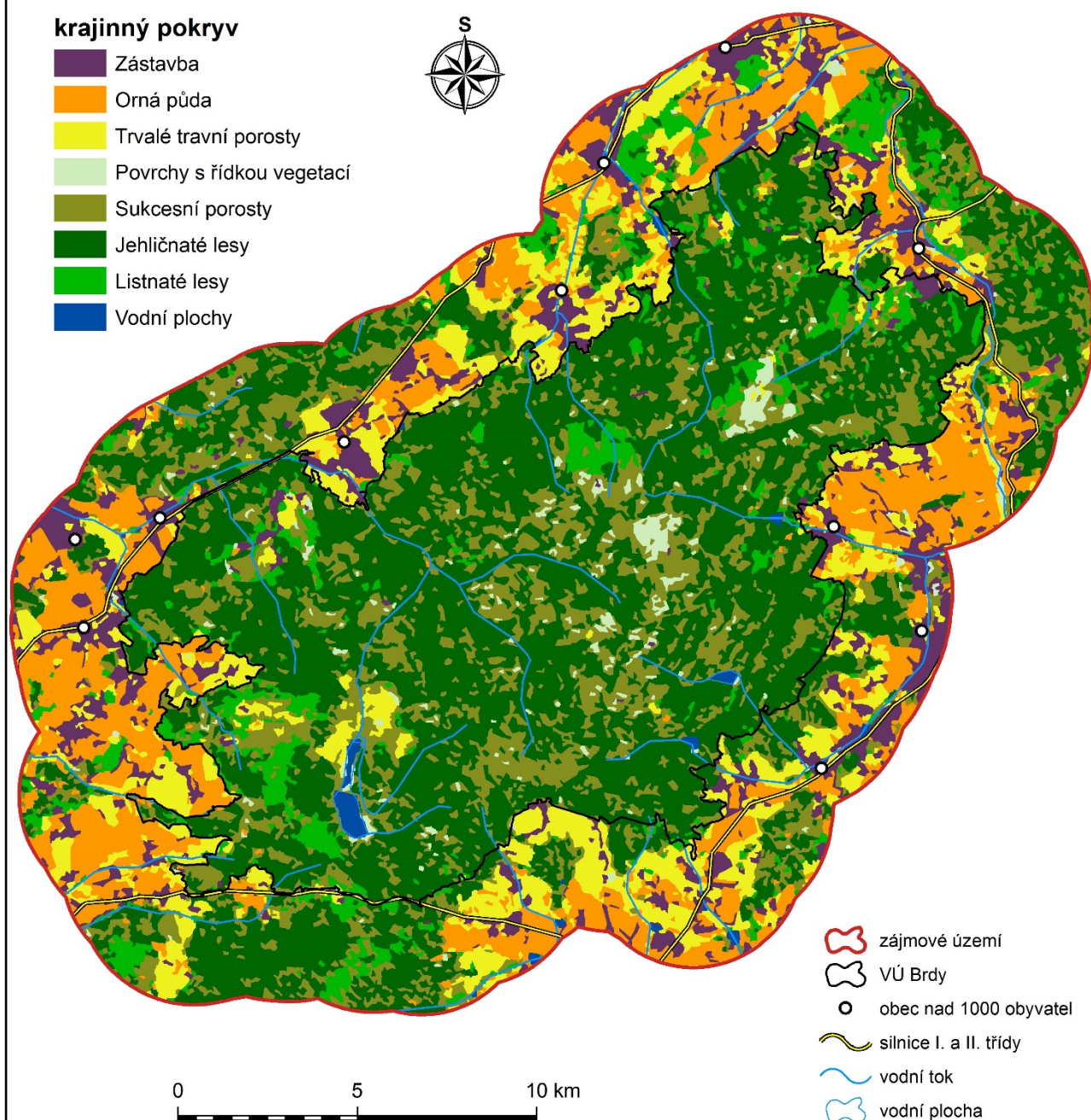
na zájmovém území Brdy



David OUTRATA
Praha 2015

KRAJINNÝ POKRYV V ROCE 2011

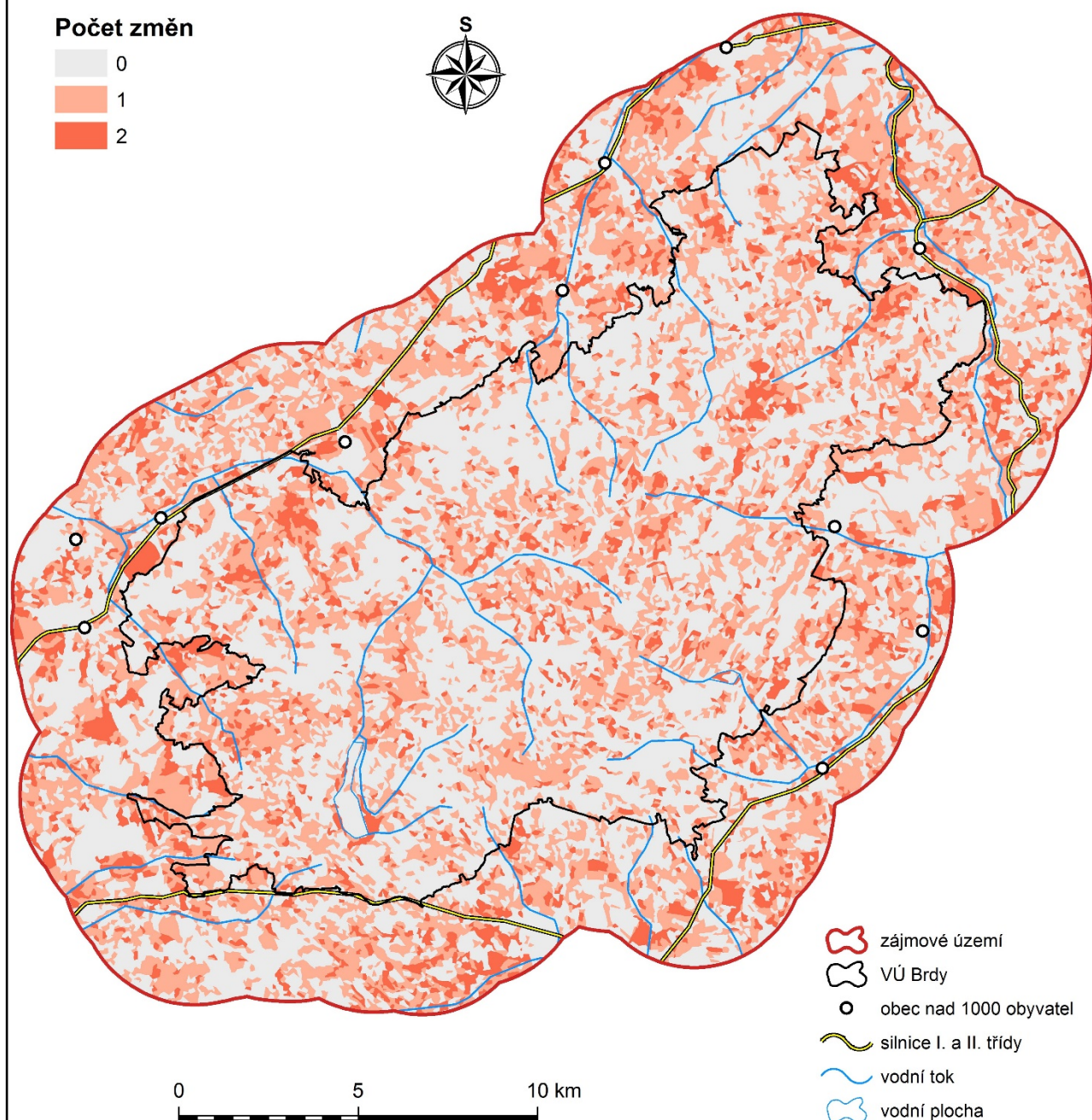
na zájmovém území Brdy



David OUTRATA
Praha 2015

ZMĚNY KRAJINNÉHO POKRYVU

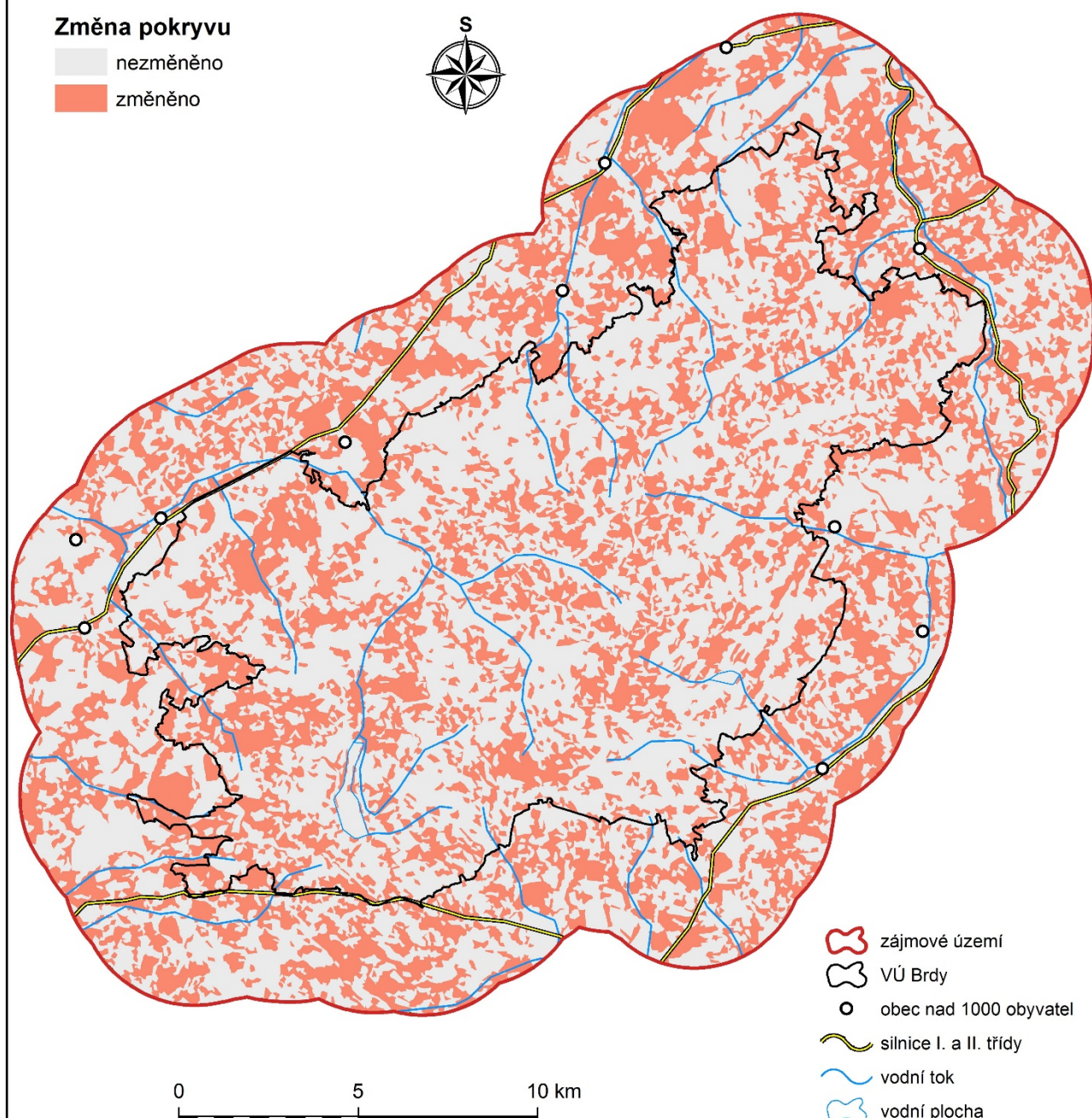
na zájmovém území Brdy mezi lety 1986, 1998 a 2011



David OUTRATA
Praha 2015

ZMĚNY KRAJINNÉHO POKRYVU

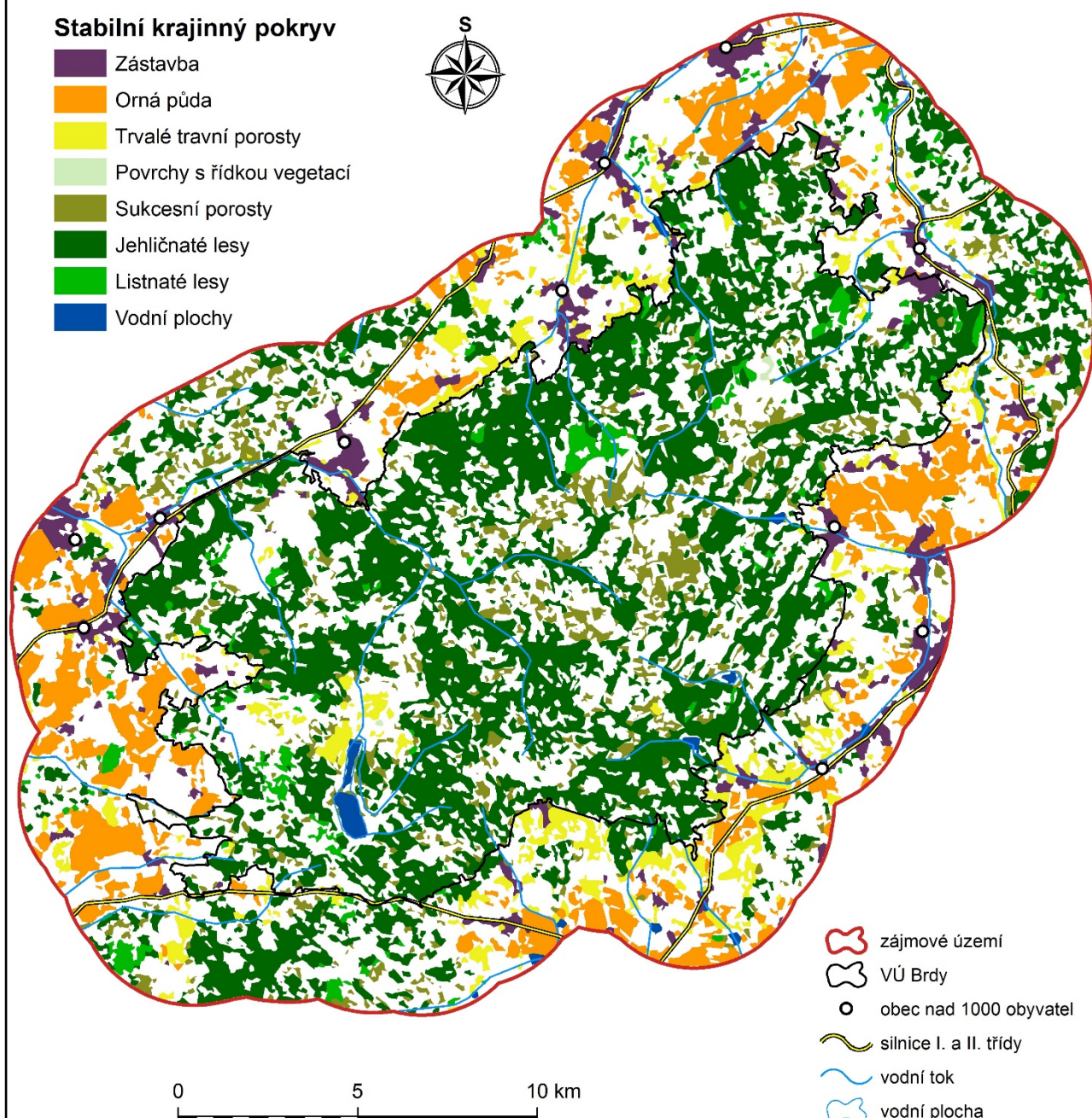
na zájmovém území Brdy mezi lety 1986 a 2011



David OUTRATA
Praha 2015

STABILNÍ KRAJINNÝ POKRYV

na zájmovém území Brdy mezi lety 1986, 1998 a 2011



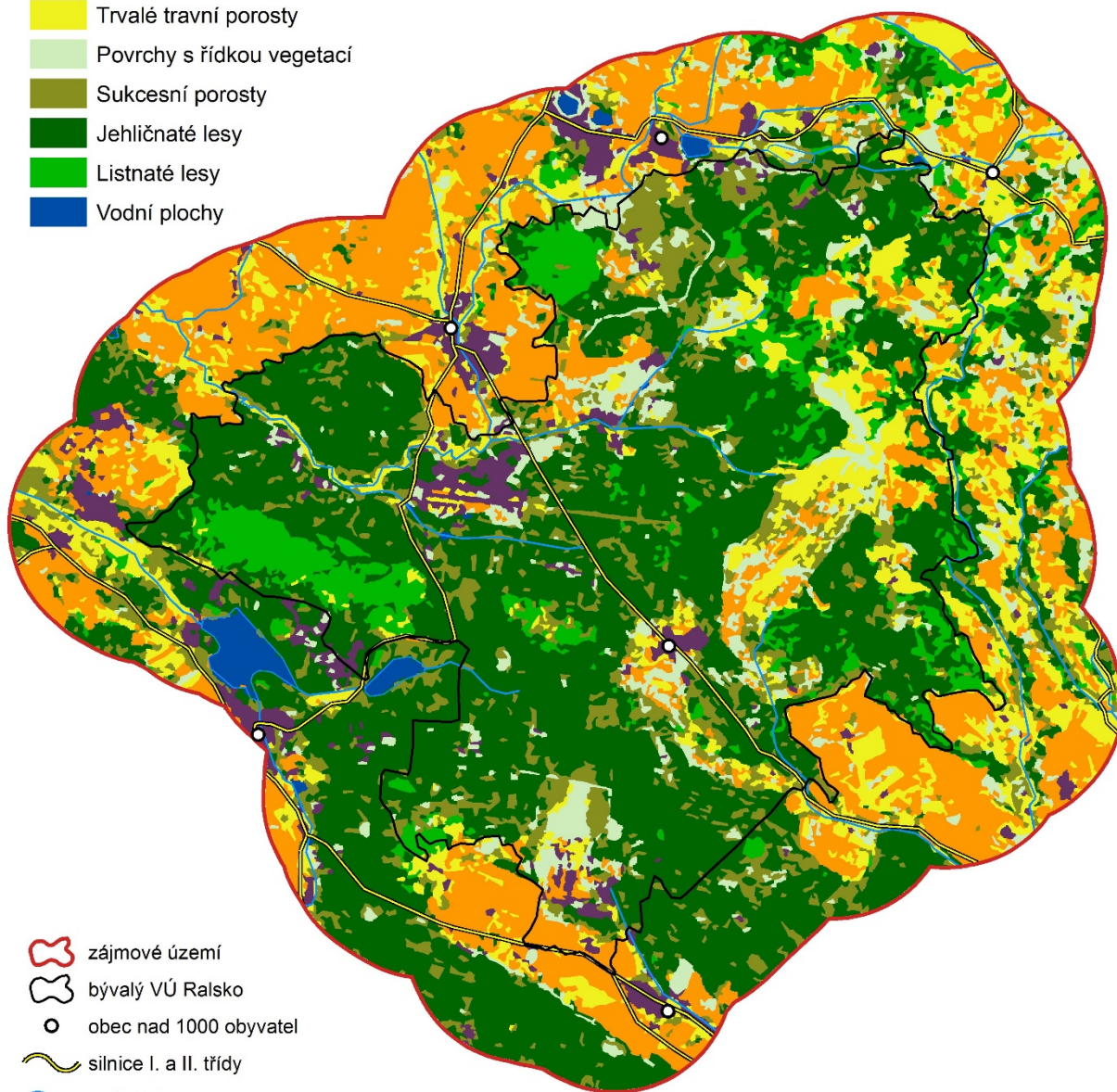
David OUTRATA
Praha 2015

KRAJINNÝ POKRYV V ROCE 1986

na zájmovém území Ralsko

krajinný pokryv

-  Zástavba
-  Orná půda
-  Trvalé travní porosty
-  Povrchy s řídkou vegetací
-  Sukcesní porosty
-  Jehličnaté lesy
-  Listnaté lesy
-  Vodní plochy



-  zájmové území
-  bývalý VÚ Ralsko
-  obec nad 1000 obyvatel
-  silnice I. a II. třídy
-  vodní tok
-  vodní plocha

0 5 10 km

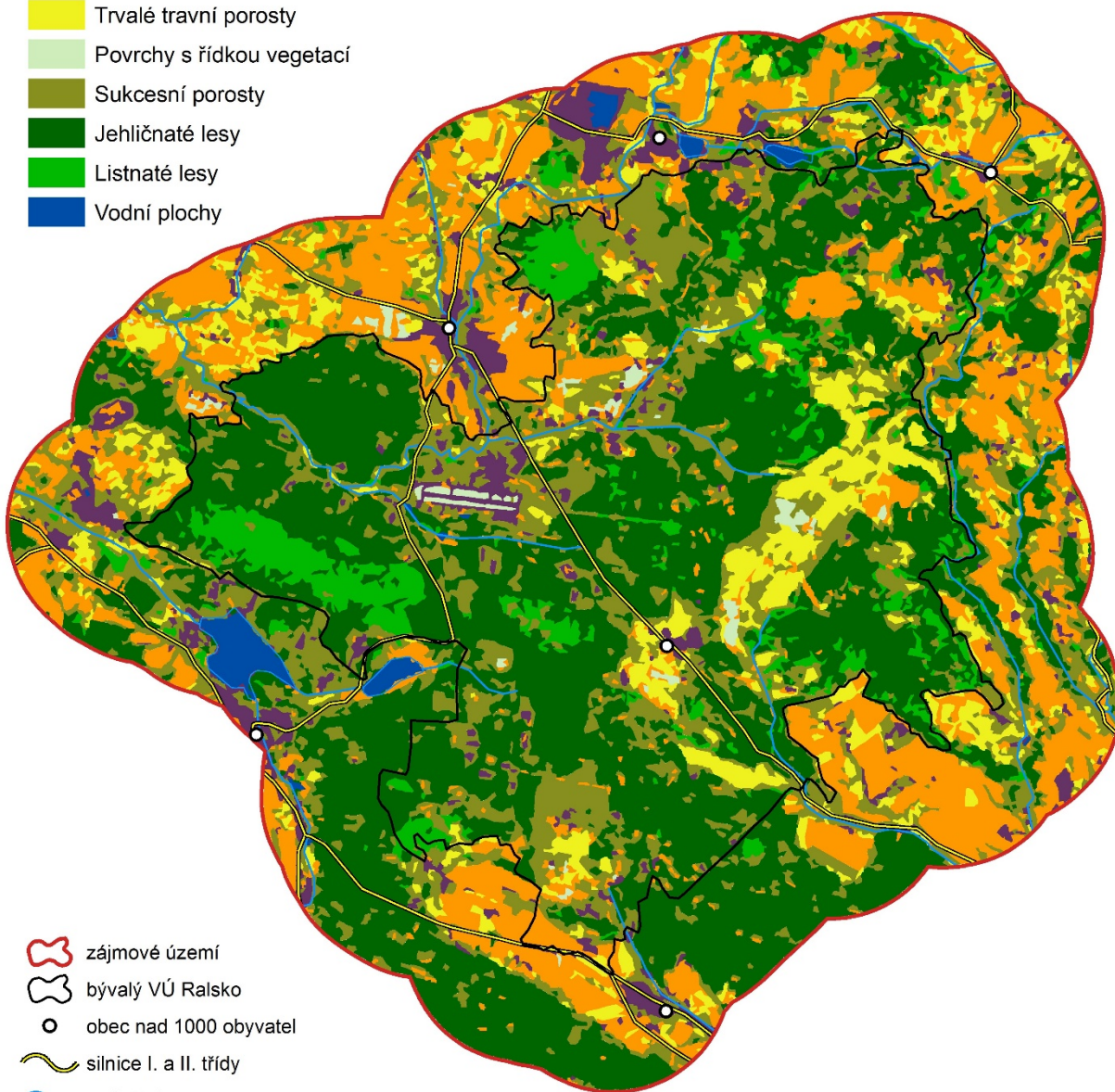
David OUTRATA
Praha 2015

KRAJINNÝ POKRYV V ROCE 1998

na zájmovém území Ralsko

krajinný pokryv

-  Zástavba
-  Orná půda
-  Trvalé travní porosty
-  Povrchy s řídkou vegetací
-  Sukcesní porosty
-  Jehličnaté lesy
-  Listnaté lesy
-  Vodní plochy



-  zájmové území
-  bývalý VÚ Ralsko
-  obec nad 1000 obyvatel
-  silnice I. a II. třídy
-  vodní tok
-  vodní plocha

0 5 10 km

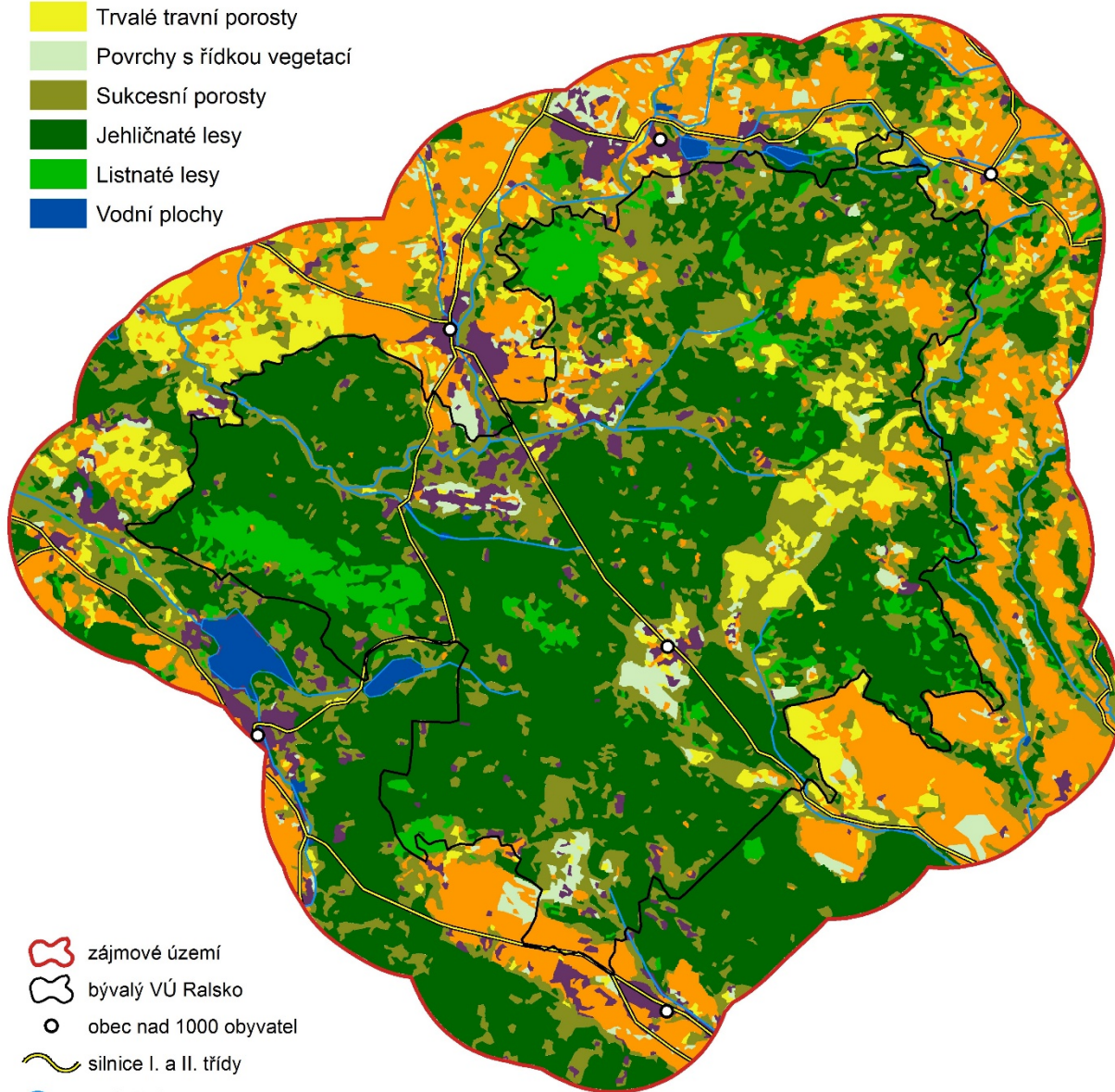
David OUTRATA
Praha 2015

KRAJINNÝ POKRYV V ROCE 2011

na zájmovém území Ralsko

krajinný pokryv

-  Zástavba
-  Orná půda
-  Trvalé travní porosty
-  Povrchy s řídkou vegetací
-  Sukcesní porosty
-  Jehličnaté lesy
-  Listnaté lesy
-  Vodní plochy



-  zájmové území
-  bývalý VÚ Ralsko
-  obec nad 1000 obyvatel
-  silnice I. a II. třídy
-  vodní tok
-  vodní plocha

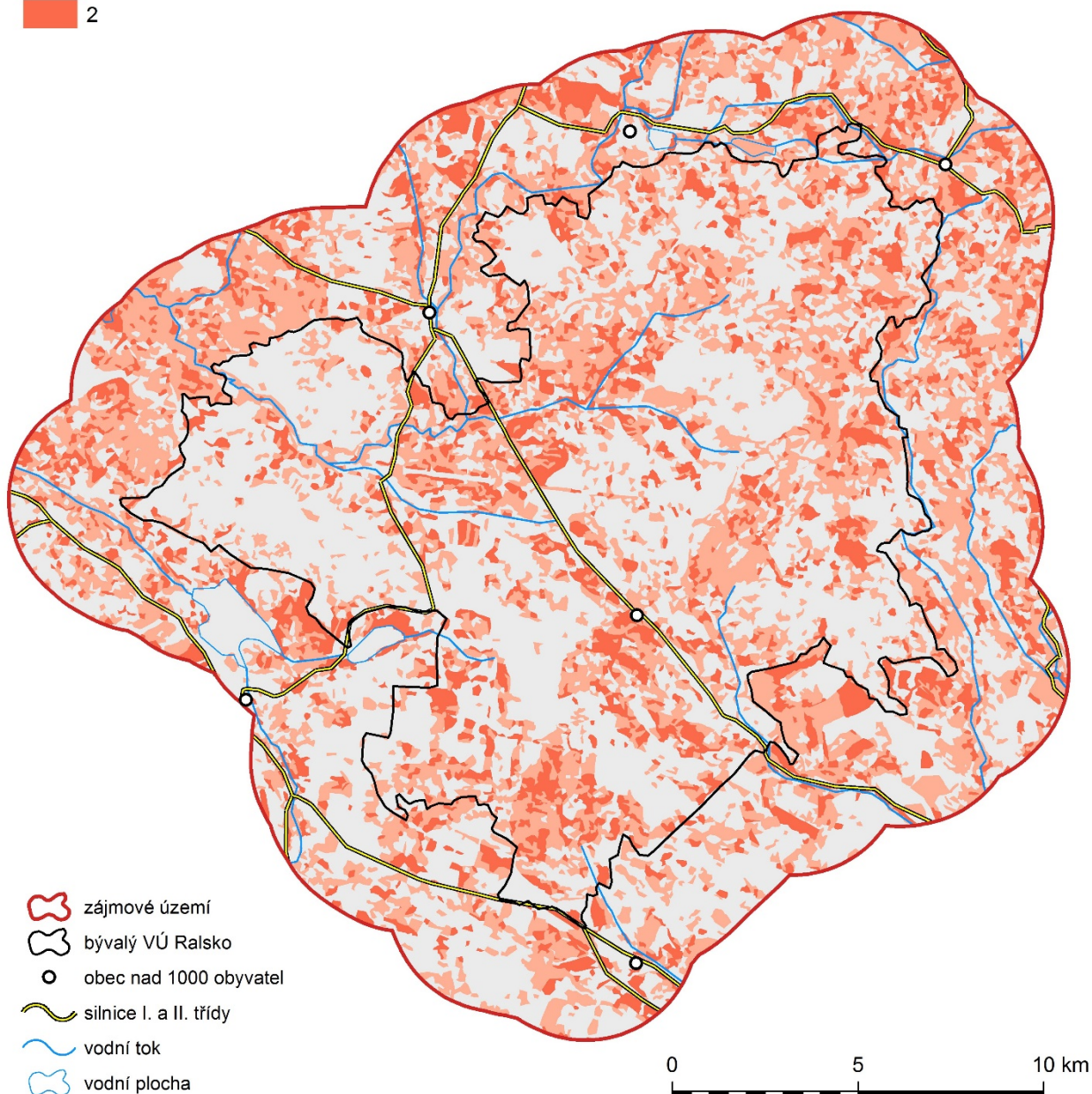
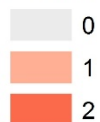
0 5 10 km

David OUTRATA
Praha 2015

ZMĚNY KRAJINNÉHO POKRYVU

na zájmovém území Ralsko mezi lety 1986, 1998 a 2011

Počet změn



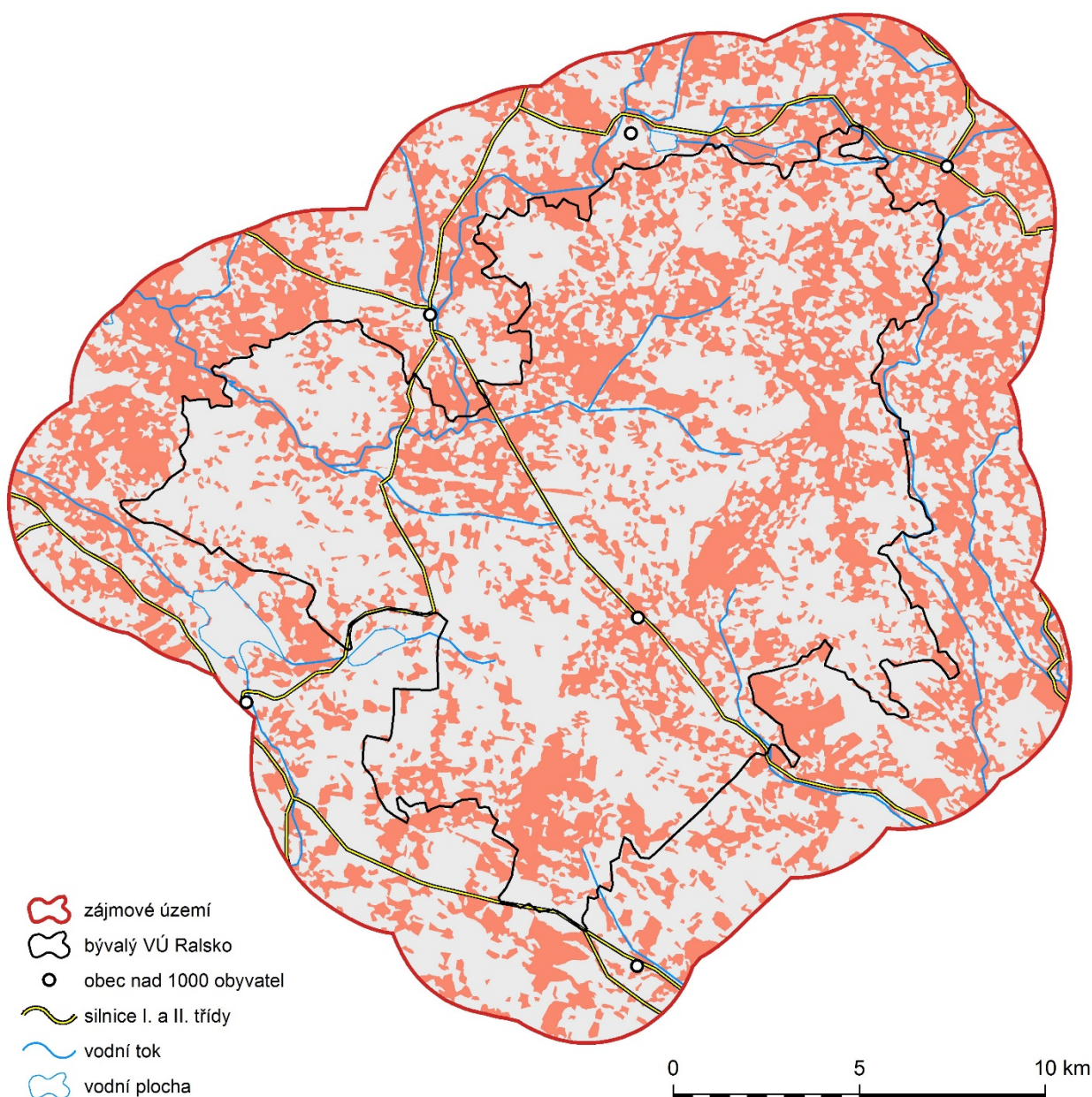
David OUTRATA
Praha 2015

ZMĚNY KRAJINNÉHO POKRYVU

na zájmovém území Ralsko mezi lety 1986 a 2011

Změna pokryvu

- nezměněno
- změněno



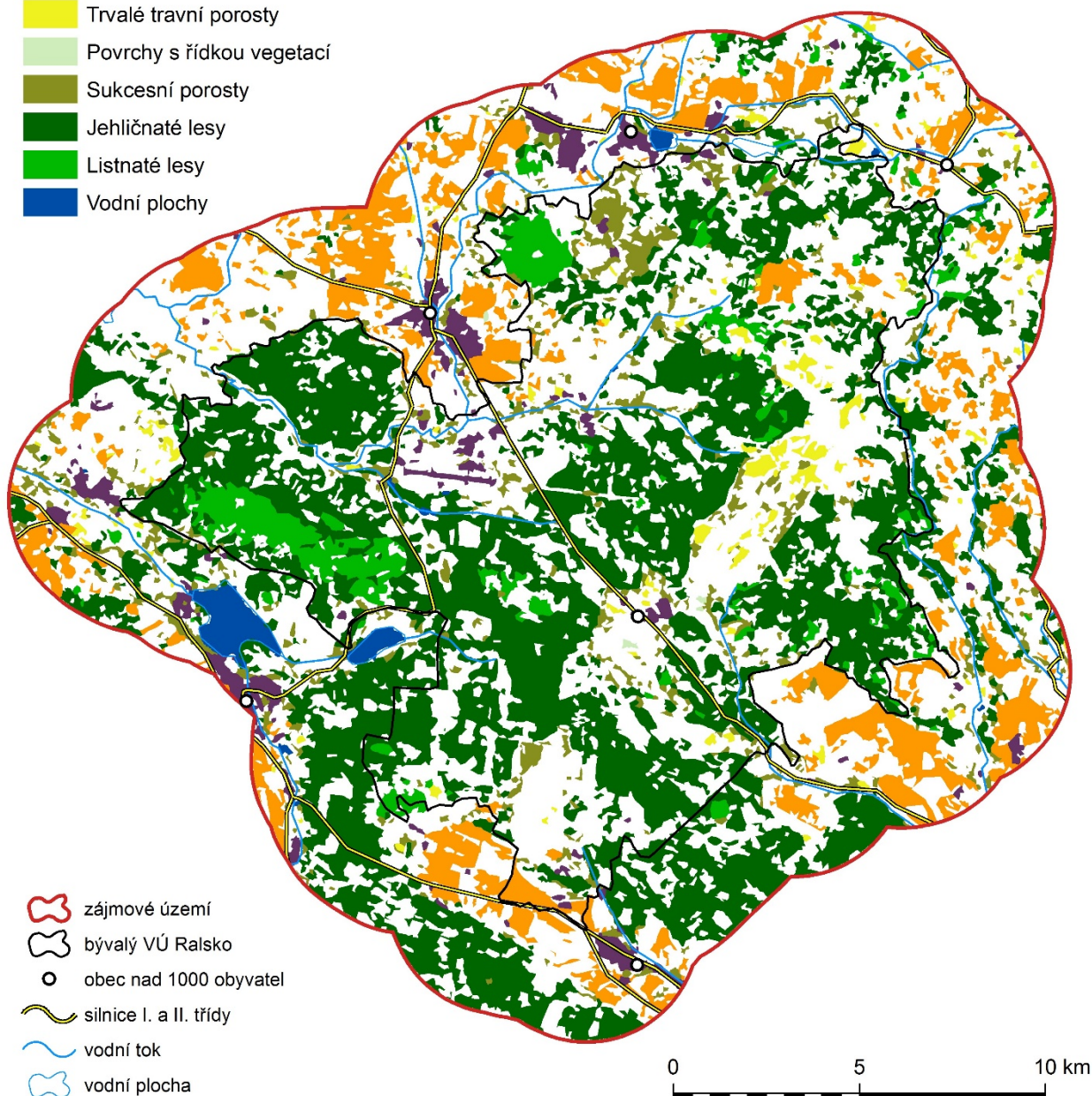
David OUTRATA
Praha 2015

STABILNÍ KRAJINNÝ POKRYV

na zájmovém území Ralsko mezi lety 1986, 1998 a 2011

Stabilní krajinný pokryv

-  Zástavba
-  Orná půda
-  Trvalé travní porosty
-  Povrchy s řídkou vegetací
-  Sukcesní porosty
-  Jehličnaté lesy
-  Listnaté lesy
-  Vodní plochy



-  zájmové území
-  bývalý VÚ Ralsko
-  obec nad 1000 obyvatel
-  silnice I. a II. třídy
-  vodní tok
-  vodní plocha

David OUTRATA
Praha 2015

Příloha 15: Chybová matice hodnocení přesnosti klasifikace Brdy 1986

CELKOVÁ PŘESNOST: 84,58%											KAPPA KOEFICIENT: 0,820	
Klasifikovaná data	Referenční data											
		Zástavba	Trvalé travní p.	Sukcesní porosty	Jehličnaté lesy	Listnaté lesy	Vodní plochy	Řídká vegetace	Orná půda	celkem	uživatelská přesnost	
	Zástavba	51	1	0	0	0	1	3	0	56	91,1%	
	Trvalé travní p.	1	29	3	0	0	0	0	4	37	78,4%	
	Sukcesní porosty	0	3	40	1	14	1	6	0	65	61,5%	
	Jehličnaté lesy	0	0	1	79	0	0	0	0	80	98,8%	
	Listnaté lesy	0	0	2	0	37	0	0	0	39	94,9%	
	Vodní plochy	0	0	0	0	0	63	0	0	63	100%	
	Řídká vegetace	0	2	5	0	0	0	30	1	38	78,9%	
	Orná půda	3	16	0	0	0	0	4	66	89	74,2%	
celkem	55	51	51	80	51	65	43	71	467			
zpracovatelská přesnost	92,7%	56,9%	78,4%	98,8%	72,5%	96,9%	69,8%	93,0%				

Příloha 16: Chybová matice hodnocení přesnosti klasifikace Brdy 1998

CELKOVÁ PŘESNOST: 89,40%											
KAPPA KOEFICIENT: 0,877											
Klasifikovaná data	Referenční data										
	Zástavba	Trvalé travní p.	Jehličnaté lesy	Vodní plochy	Sukcesní porosty	Listnaté lesy	Orná půda	Řídká vegetace	celkem	uživatelská přesnost	
	Zástavba	53	0	0	1	1	0	0	4	59	89,8%
	Trvalé travní p.	0	50	0	0	0	0	0	0	50	100%
	Jehličnaté lesy	0	0	77	0	2	0	0	0	79	97,5%
	Vodní plochy	0	0	0	68	0	0	0	0	68	100%
	Sukcesní porosty	0	2	4	1	40	2	0	13	62	64,5%
	Listnaté lesy	0	0	1	0	7	35	0	0	43	81,4%
	Orná půda	2	4	0	0	0	0	69	2	77	89,6%
	Řídká vegetace	1	0	0	0	0	0	1	13	15	86,7%
celkem	56	56	82	70	50	37	70	32	453		
zpracovatelská přesnost	94,6%	89,3%	93,9%	97,1%	80,0%	94,6%	98,6%	40,6%			

Příloha 17: Chybová matice hodnocení přesnosti klasifikace Brdy 2011

CELKOVÁ PŘESNOST: 90,02%											KAPPA KOEFICIENT: 0,886	
Klasifikovaná data	Referenční data											
		Zástavba	Trvalé travní p.	Jehličnaté lesy	Vodní plochy	Sukcesní porosty	Listnaté lesy	Orná půda	Řídká vegetace	celkem	uživatelská přesnost	
	Zástavba	52	2	0	1	0	0	15	1	71	73,2%	
	Trvalé travní p.	1	67	0	0	1	0	0	0	69	97,1%	
	Jehličnaté lesy	0	0	80	0	1	0	0	0	81	98,8%	
	Vodní plochy	0	0	0	70	0	0	0	0	70	100%	
	Sukcesní porosty	0	0	2	1	42	3	0	2	50	84,0%	
	Listnaté lesy	0	0	0	0	2	54	0	0	56	96,4%	
	Orná půda	1	8	1	0	1	0	55	0	66	83,3%	
	Řídká vegetace	0	2	0	0	5	0	2	49	58	84,5%	
celkem	54	79	83	72	52	57	72	52	521			
zpracovatelská přesnost	96,3%	84,8%	96,4%	97,2%	80,8%	94,7%	76,4%	94,2%				

Příloha 18: Chybová matice hodnocení přesnosti klasifikace Ralsko 1986

CELKOVÁ PŘESNOST: 80,45%											KAPPA KOEFICIENT: 0,820	
Klasifikovaná data	Referenční data											
		Zástavba	Trvalé travní p.	Sukcesní porosty	Jehličnaté lesy	Listnaté lesy	Vodní plochy	Orná půda	Řídká vegetace	celkem	uživatelská přesnost	
	Zástavba	43	0	0	0	0	0	0	6	49	87,8%	
	Trvalé travní p.	2	30	22	0	3	0	2	1	60	50,0%	
	Sukcesní porosty	1	2	25	0	1	0	0	3	32	78,1%	
	Jehličnaté lesy	0	0	1	71	0	0	0	1	73	97,3%	
	Listnaté lesy	0	0	0	0	47	0	0	0	47	100%	
	Vodní plochy	0	0	0	0	0	62	0	0	62	100%	
	Orná půda	3	17	0	1	0	0	51	10	82	62,2%	
	Řídká vegetace	0	1	4	0	0	0	6	29	40	72,5%	
celkem	49	50	52	72	51	62	59	50	445			
zpracovatelská přesnost	87,8%	60,0%	48,1%	98,6%	92,2%	100%	86,4%	58,0%				

Příloha 19: Chybová matice hodnocení přesnosti klasifikace Ralsko 1998

CELKOVÁ PŘESNOST: 83,00%											KAPPA KOEFICIENT: 0,787	
Klasifikovaná data	Referenční data											
		Zástavba	Trvalé travní p.	Sukcesní porosty	Jehličnaté lesy	Listnaté lesy	Vodní plochy	Orná půda	Řídká vegetace	celkem	uživatelská přesnost	
	Zástavba	45	0	4	0	0	0	1	9	59	76,3%	
	Trvalé travní p.	1	36	8	0	0	0	1	1	47	76,6%	
	Sukcesní porosty	3	1	40	4	6	0	2	4	60	66,7%	
	Jehličnaté lesy	0	0	0	68	0	0	0	0	68	100%	
	Listnaté lesy	0	0	0	0	50	0	0	0	50	100%	
	Vodní plochy	0	0	0	0	0	67	0	0	67	100%	
	Orná půda	2	15	0	0	0	0	51	15	83	61,4%	
	Řídká vegetace	0	0	0	0	0	0	0	19	19	100%	
celkem	51	52	52	72	56	67	55	48	453			
zpracovatelská přesnost	88,2%	69,2%	76,9%	94,4%	89,3%	100%	92,7%	39,6%				

Příloha 20: Chybová matice hodnocení přesnosti klasifikace Ralsko 2011

CELKOVÁ PŘESNOST: 81,07%											KAPPA KOEFICIENT: 0,787	
Klasifikovaná data	Referenční data											
		Zástavba	Trvalé travní p.	Sukcesní porosty	Jehličnaté lesy	Listnaté lesy	Vodní plochy	Orná půda	Řídká vegetace	celkem	uživatelská přesnost	
	Zástavba	38	1	3	0	0	0	4	11	57	66,7%	
	Trvalé travní p.	0	43	0	0	0	0	11	0	54	79,6%	
	Sukcesní porosty	2	4	45	3	8	0	0	3	65	69,2%	
	Jehličnaté lesy	0	0	2	71	1	0	0	0	74	95,9%	
	Listnaté lesy	0	0	0	1	52	0	0	0	53	98,1%	
	Vodní plochy	0	0	0	0	0	70	0	0	70	100%	
	Orná půda	5	14	1	0	0	0	55	10	85	64,7%	
	Řídká vegetace	5	2	1	0	0	0	0	20	28	71,4%	
celkem	50	64	52	75	61	70	70	44	486			
zpracovatelská přesnost	76,0%	67,2%	86,5%	94,7%	85,2%	100%	78,6%	45,5%				